المملكة العربية السعودية

وزارة التعليم
Ministry of Education

قررت وزارة التعليم تدريس
هذا الكتاب وطبعه على نفقتها

الفيزياء 2

التعليم الثانوي- نظام المسارات

السنة الثانية

قام بالتأليف والمراجعة
فريق من المتخصصين

طبعة 1447 - 2025

يوزع مجاناً ولا يباع
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

ح المركز الوطني للمناهج ، ١٤٤٦هـ

المركز الوطني للمناهج
فيزياء ٢ - التعليم الثانوي - السنة الثانية - نظام المسارات./ المركز الوطني للمناهج. - الرياض ، ١٤٤٦هـ
٢٤٢ ص ؛ ٢١x ٢٥,٥ سم

رقم الإيداع : ١٦٣٧٨ / ١٤٤٦
ردمك : ٧- ٩١ - ٨٥٢٧ - ٦٠٣ - ٩٧٨

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم
www.moe.gov.sa

مواد إثرائية وداعمة على "منصة عين الإثرائية"

ien.edu.sa

أعزاءنا المعلمين والمعلمات، والطلاب والطالبات، وأولياء الأمور، وكل مهتم بالتربية والتعليم:
يسعدنا تواصلكم؛ لتطوير الكتاب المدرسي، ومقترحاتكم محل اهتمامنا.

fb.ien.edu.sa

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

رموز السلامة	المخاطر	الأمثلة	الاحتياطات	العلاج
التخلص من المخلفات	مخلفات التجربة قد تكون ضارة بالإنسان.	بعض المواد الكيميائية، والمخلوقات حية.	لا تتخلص من هذه المواد في المغسلة أو في سلة المهملات.	تخلص من المخلفات وفق تعليمات المعلم.
ملوثات حيوية بيولوجية	مخلوقات ومواد حية قد تسبِّب ضررًا للإنسان.	البكتيريا، الفطريات، الدم، الأنسجة غير المحفوظة، المواد النباتية.	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد، وارتد كمامة وقفازين.	أبلغ معلمك في حالة حدوث ملامسة للجسم، واغسل يديك جيدًا.
درجة الحرارة المؤذية	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو برودتها الشديدتين.	غليان السوائل، السخانات الكهربائية، الجليد الجاف، النيتروجين السائل.	استعمال قفازات واقية.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأجسام الحادة	استعمال الأدوات والزجاجيات التي تجرح الجلد بسهولة.	المقصات، الشفرات، السكاكين، الأدوات المدبَّبة، أدوات التشريح، الزجاج المكسور.	تعامل بحكمة مع الأداة، واتبع إرشادات استعمالها.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأبخرة الضارة	خطر محتمل على الجهاز التنفسي من الأبخرة.	الأمونيا، الأستون، الكبريت الساخن، كرات العث (النفثالين).	تأكد من وجود تهوية جيدة، ولا تشم الأبخرة مباشرة، وارتد كمامة.	اترك المنطقة، وأخبر معلمك فوراً.
الكهرباء	خطر محتمل من الصعقة الكهربائية أو الحريق.	تأريض غير صحيح، سوائل منسكبة، تماس كهربائي، أسلاك معرّاة.	تأكد من التوصيلات الكهربائية للأجهزة بالتعاون مع معلمك.	لا تحاول إصلاح الأعطال الكهربائية، واستعن بمعلمك فوراً.
المواد المهيِّجة	مواد قد تهيج الجلد أو الغشاء المخاطي للقناة التنفسية.	حبوب اللقاح، كرات العث، سلك المواعين، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ضع واقيًا للغبار وارتد قفازين وتعامل مع المواد بحرص شديد.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
المواد الكيميائية	المواد الكيميائية التي قد تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتتلفها.	المبيضات مثل فوق أكسيد الهيدروجين والأحماض كحمض الكبريتيك، القواعد كالأمونيا وهيدروكسيد الصوديوم.	ارتد نظارة واقية، وقفازين، والبس معطف المختبر.	اغسل المنطقة المصابة بالماء، وأخبر معلمك بذلك.
المواد السامة	مواد تسبب التسمم إذا ابتلعت أو استُنشقت أو لمست.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النباتات السامة.	اتبع تعليمات معلمك.	اغسل يديك جيدًا بعد الانتهاء من العمل، واذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
مواد قابلة للاشتعال	بعض الكيماويات التي يسهل اشتعالها بوساطة اللهب، أو الشرر، أو عند تعرضها للحرارة.	الكحول، الكيروسين، الأستون، برمنجنات البوتاسيوم، الملابس، الشعر.	تجنب مناطق اللهب عند استخدام هذه الكيماويات.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفأة الحريق إن وجدت.
اللهب المشتعل	ترك اللهب مفتوحاً يسبب الحريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للاشتعال.	اربط الشعر إلى الخلف، ولا تلبس الملابس الفضفاضة، واتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو إطفائه.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفأة الحريق إن وجدت.

سلامة العين
يجب دائماً ارتداء نظارة واقية عند العمل في المختبر.

وقاية الملابس
يظهر هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعًا أو حريقًا للملابس.

سلامة الحيوانات
يشير هذا الرمز للتأكيد على سلامة المخلوقات الحية.

نشاط إشعاعي
يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.

غسل اليدين
اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارة الواقية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين وعلى آله وصحبه أجمعين وبعد:

يأتي اهتمام المملكة العربية السعودية بتطوير المناهج الدراسية وتحديثها من منطلق أحد التزامات رؤية المملكة العربية السعودية (2030) وهو: «إعداد مناهج تعليمية متطورة تركز على المهارات الأساسية بالإضافة إلى تطوير المواهب وبناء الشخصية»، وذلك من منطلق تطوير التعليم وتحسين مُخرجاته ومواكبة التطورات العالمية على مختلف الصعد.

ويأتي كتاب (فيزياء2) لنظام المسارات في التعليم الثانوي داعماً لرؤية المملكة العربية السعودية (2030) نحو الاستثمار في التعليم «عبر ضمان حصول كل طالب على فرص التعليم الجيد وفق خيارات متنوعة»، بحيث يكون الطالب فيها هو محور العملية التعليمية التعلمية.

والفيزياء فرع من العلوم الطبيعية يهتم بدراسة الظواهر الطبيعية واستنباط النظريات وصياغة القوانين الرياضية التي تحكم المادة والطاقة والفراغ والزمن، ويحاول تفسير وإيجاد علاقات لما يدور في الكون من خلال دراسة تركيب المادة ومكوناتها الأساسية، والقوى بين الجسيمات والأجسام المادية، ونتائج هذه القوى، إضافة إلى دراسة الطاقة والشحنة والكتلة. لذا يهتم علم الفيزياء بدراسة الجسيمات تحت الذرية مرورًا بسلوك المواد في العالم الكلاسيكي إلى حركة النجوم والمجرات.

وقد تم بناء محتوى الكتاب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وبما يعزز مبدأ رؤية (2030) «نتعلم لنعمل»، وقد جاء تنظيم المحتوى بأسلوب شائق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها سلسلة مناهج العلوم، من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة، المبني والموجه والمفتوح. فقبل البدء في دراسة محتوى كل فصل من فصول الكتاب، يطلع الطالب على الأهداف العامة للفصل التي تقدم صورة شاملة عن محتواه، وكذلك الاطلاع على أهمية الفصل من خلال عرض ظاهرة أو تقنية ترتبط بمحتوى الفصل، إضافة إلى وجود سؤال فكّر الذي يحفز الطالب على دراسة الفصل. ثم ينفِّذ أحد أشكال الاستقصاء المبني تحت عنوان «تجربة استهلالية» والتي تساعد أيضًا على تكوين نظرة شاملة عن محتوى الفصل. وتتيح التجربة الاستهلالية في نهايتها ممارسة شكل آخر من أشكال الاستقصاء الموجه من خلال سؤال الاستقصاء المطروح. وهناك أشكال أخرى من النشاطات الاستقصائية التي يمكن تنفيذها في أثناء دراسة المحتوى، ومنها التجربة العملية، ويمكن الرجوع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية، ومختبر الفيزياء الذي يرد في نهاية كل فصل، ويتضمن استقصاءً مفتوحًا في نهايته.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

يبدأ محتوى الدراسة في كل قسم بعرض الأهداف الخاصة والمفردات الجديدة التي سيتعلمها الطالب. وستجد أدوات أخرى تساعدك على فهم المحتوى، منها ربط المحتوى مع واقع الحياة من خلال تطبيق الفيزياء، والربط مع العلوم الأخرى، والربط مع محاور رؤية (2030) وأهدافها الاستراتيجية. وستجد شرحا وتفسيرا للمفردات الجديدة التي تظهر باللون الأسود الغامق، ومظللة باللون الأصفر، وأمثلة محلولة يليها مسائل تدريبية تعمق معرفة الطالب بمحتوى المقرر واستيعاب المفاهيم والمبادئ العلمية الواردة فيه. كما ستجد أيضًا في كل فصل مسألة تحفيز تطبق فيها ما تعلمته في حالات جديدة. ويتضمن كل قسم مجموعة من الصور والأشكال والرسوم التوضيحية بدرجة عالية الوضوح تعزز فهمك للمحتوى.

وقد وظفت أدوات التقويم الواقعي في التقويم بمراحله وأغراضه المختلفة: القبلي، والتشخيصي، والتكويني (البنائي)، والختامي (التجميعي)؛ إذ يمكن توظيف الصورة الافتتاحية في كل فصل والأسئلة المطروحة في التجربة الاستهلالية بوصفها تقويمًا قبليًّا تشخيصيًّا لاستكشاف ما يعرفه الطلاب عن موضوع الفصل. ومع التقدم في دراسة كل جزء من المحتوى تجد تقويمًا خاصًّا بكل قسم من أقسام الفصل يتضمن أفكار المحتوى وأسئلة تساعد على تلمّس جوانب التعلم وتعزيزه، وما قد يرغب الطالب في تعلمه في الأقسام اللاحقة. وفي نهاية كل فصل يأتي دليل مراجعة الفصل متضمنًا تذكيرًا بالمفاهيم الرئيسة والمفردات الخاصة بكل قسم. يلي ذلك تقويم الفصل الذي يشمل أسئلة وفقرات متنوعة تهدف إلى تقويم تعلم الطالب في مجالات عدة، هي: إتقان المفاهيم، وحل المسائل، والتفكير الناقد، والمراجعة العامة، والمراجعة التراكمية، ومهارات الكتابة في الفيزياء. وفي نهاية كل فصل يجد الطالب اختبارًا مقننًا يهدف إلى تدريبه على حل المسائل وإعداده للتقدم للاختبارات الوطنية والدولية، إضافة إلى تقويم فهمه لموضوعات كان قد درسها من قبل.

ونسأله سبحانه أن يحقق الكتاب الأهداف المرجوة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

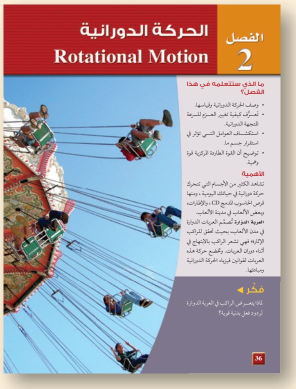
قائمة المحتويات

الفصل 1

الجاذبية 8

1-1 حركة الكواكب والجاذبية 9

1-2 استخدام قانون الجذب الكوني.................. 18



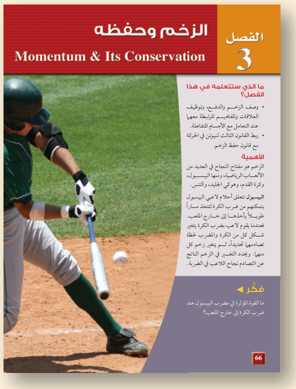
الفصل 2

الحركة الدورانية 36

2-1 وصف الحركة الدورانيــة 37

2-2 ديناميكا الحركة الدورانية 42

2-3 الاتزان... 47



الفصل 3

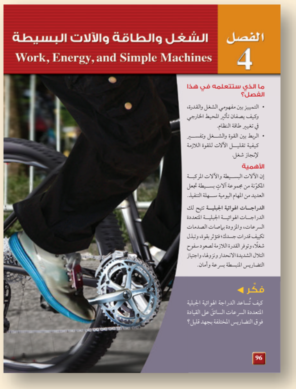
الزخم وحفظه.. 66

3-1 الدفع والزخم.................................... 67

3-2 حفظ الزخم...................................... 74

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

قائمة المحتويات

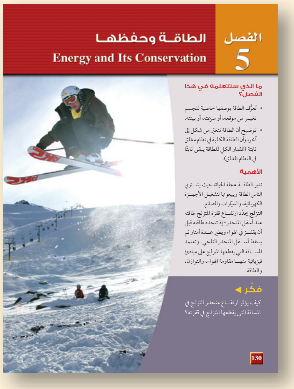


الفصل 4

الشغل والطاقة والآلات البسيطة 96

4-1 الطاقة والشغل 97

4-2 الآلات 109

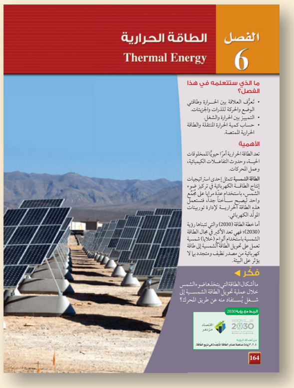


الفصل 5

الطاقة وحفظها 130

5-1 الأشكال المتعددة للطاقة 131

5-2 حفظ الطاقة............................... 141



الفصل 6

الطاقة الحرارية 164

6-1 درجة الحرارة والطاقة الحرارية 165

6-2 تغيرات حالة المادة وقوانين الديناميكا الحرارية.. 178

دليل الرياضيات................................ 201

الجداول.. 232

المصطلحات.................................... 236

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 1

الجاذبية
Gravitation

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف طبيعة قوة الجاذبية.
- الربط بين قوانين كبلر في حركة الكواكب وقوانين نيوتن في الحركة.
- وصف مدارات الكواكب والأقمار الاصطناعية باستعمال قانون الجذب الكوني (العام).

الأهمية

تساعدك قوانين كبلر وقانون الجذب الكوني على فهم حركة الكواكب والأقمار الاصطناعية.

المُذنّبات اكتُشف مذنب هال- بوب على يد العالمين ألن هال وتوماس بوب عام 1995م. ودخل هذا المذنب نظامنا الشمسي عام 1997م، وكان مرئيًّا في كاليفورنيا، وظهرت مناظر لذيله الغباري الأبيض وذيله الأيوني الأزرق.

فكِّر ◄

تدور المذنبات حول الشمس كما تفعل الكواكب والنجوم. كيف تستطيع وصف مدار مذنب مثل مذنب هال- بوب؟

تجربة استهلالية

هل يمكنك عمل نموذج لحركة عطارد؟

سؤال التجربة هل تتحرك الكواكب في نظامنا الشمسي في مدارات دائرية أم في مدارات لها أشكال أخرى؟

الخطوات

1. استعمل جدول البيانات لرسم مدار عطارد باستعمال مقياس الرسم 1 AU = 10 cm. ولاحظ أن الوحدة الفلكية الواحدة AU تساوي بُعْدَ الأرض عن الشمس، $1\ AU = 1.5\times10^8\ km$.
2. احسب المسافة بوحدة cm لكل مسافة مقيسة بوحدة AU.
3. عيّن نقطة في مركز ورقتك، وارسم المحاور الرئيسة x و y عند هذه النقطة.
4. ضع المنقلة على الخط الأفقي على أن يكون مركزها منطبقًا على مركز الورقة، وقس الدرجات، ثم ضع علامة.
5. ضع المسطرة بحيث تمر بالمركز وعلامة الزاوية، وعلّم المسافة للزاوية المقصودة بالسنتمترات. قد تحتاج إلى وضع المنقلة على الخط الرأسي لقياس بعض الزوايا.
6. عندما تنتهي من وضع علامات لنقاط البيانات كلها ارسم خطًّا يجمعها.

التحليل

صف شكل مدار عطارد، وارسم خطًّا يمر بالشمس يمثل أطول محور للمدار، وسمّه المحور الرئيس.

التفكير الناقد كيف يمكن مقارنة مدار عطارد بمدار المذنب هال - بوب الظاهر في الصفحة السابقة؟

مسار عطارد	
θ (°)	d (AU)
4	0.35
61	0.31
122	0.32
172	0.38
209	0.43
239	0.46
266	0.47
295	0.44
330	0.40
350	0.37

1-1 حركة الكواكب والجاذبية Planetary Motion and Gravitation

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

كان يُعتقد قديمًا أن الشمس والقمر والكواكب والنجوم تدور كلها حول الأرض، إلا أن العالم البولندي كوبرنيكس لاحظ أن المشاهدات المتوافرة لحركة الكواكب والنجوم لا تتفق كليًّا مع هذا النموذج الذي مركزه الأرض. وقد نُشرت نتائج أعمال كوبرنيكس عام 1543م، حيث بيّن أن حركة الكواكب يمكن فهمها بصورة أفضل إذا افترضنا أن الأرض وغيرها من الكواكب تدور حول الشمس.

ثم جاء تايكو براهي، الذي ولد بعد سنوات قليلة من موت كوبرنيكس، حيث لاحظ -وهو في الرابعة عشرة من عمره في الدنمارك - كسوفًا للشمس عام 1560م، فقرّر أن يُصبح فلكيًّا، درس الفلك خلال سفره عبر أوربا مدة خمس سنوات. ولم يستعمل التلسكوب، بل استعمل أجهزة صممها بنفسه. وتوصل خطأً - كما سيتبين لاحقًا- إلى أن الشمس والقمر يدوران حول الأرض، في حين تدور الكواكب الأخرى حول الشمس.

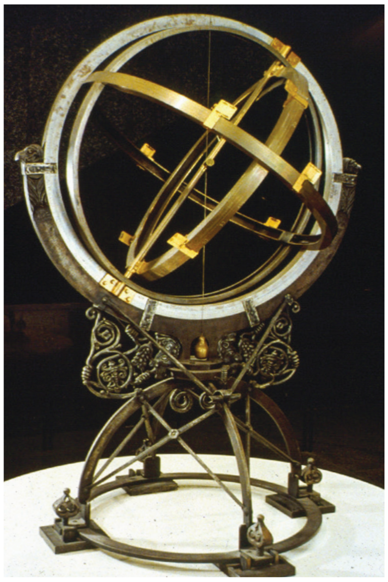
◄ الأهداف

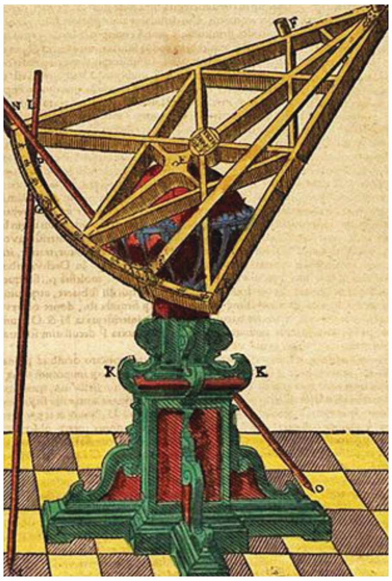
- **تربط** بين قوانين كبلر وقانون الجذب الكوني.
- **تحسب** الزمن الدوري ومقدار السرعة المدارية.
- **تصف** أهمية تجربة كافندش.

◄ المفردات

القانون الأول لكبلر
القانون الثاني لكبلر
القانون الثالث لكبلر
قوة الجاذبية
قانون الجذب الكوني (العام)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447





■ **الشكل 1-1** من بين الأجهزة الضخمة التي بناها براهي واستعملها على جزيرة Hven جهاز الأسطرلاب (**a**)، وآلة السُّدس (**b**)، وهي في الأصل من ابتكار علماء المسلمين.

King Faisal
PRIZE

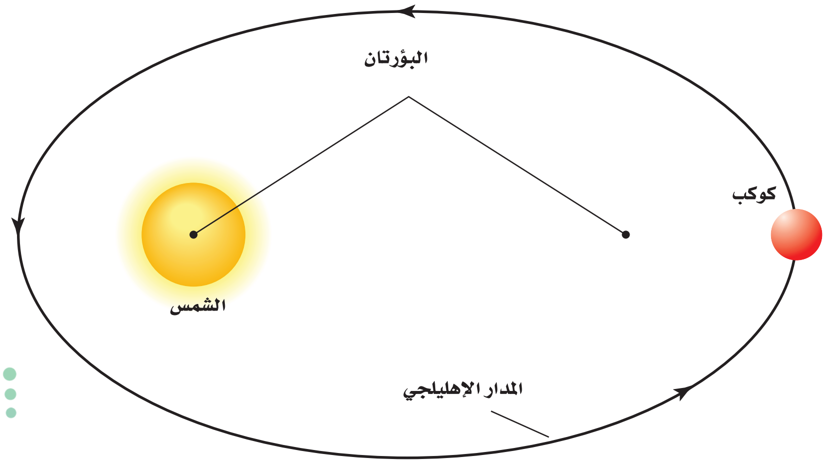
مُنِح البروفيسور راشد عليفتش سنييف جائزة الملك فيصل لعام ١٤٣٠هـ/٢٠٠٩م تقديرًا لإنجازه عملاً رائدًا ومساهمة أساسية في مجال فيزياء الفلك، حيث أسست بحوثه النظرية حول خلفية الإشعاع الكوني قاعدة للمشاهدات الفلكية واستكشاف بُنْية الكون والمجرّات. ويُعدُّ عمله المتعلّق بالثقوب السوداء والنجوم الثنائية حاسمًا في تطوير مجال الأشعة السينية الكونية.

المصدر: موقع جائزة الملك فيصل / فرع العلوم

قوانين كبلر Kepler's Laws

أصبح يوهان كبلر الألماني مساعدًا لبراهي عندما انتقل إلى براغ. ودرّب براهي مساعديه على كيفية استعمال أجهزة كالمبيَّنة في **الشكل 1–1**. وعندما تُوفي براهي ورث كبلر نتائج مشاهداته، ودرس البيانات. اعتقد كبلر أن الشمس تولّد قوة على الكواكب المحيطة، واعتبرها مركز المجموعة الشمسية. وبعد عدة سنوات من الدراسة التحليلية لبيانات حركة المريخ اكتشف كبلر القوانين التي تصف حركة كل كوكب.

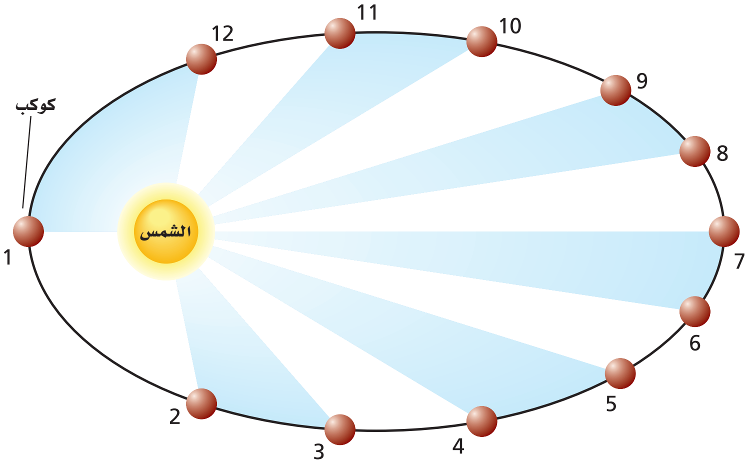
ينص **القانون الأول لكبلر** على أن مدارات الكواكب إهليلجية، وتكون الشمس في إحدى البؤرتين؛ فالشكل الإهليلجي له بؤرتان كما في **الشكل 2–1**. و تدور المذنبات في مدارات إهليلجية أيضًا مثل الكواكب والنجوم، وتقسم إلى مجموعتين اعتمادًا على الزمن الدوري لها، وهو الزمن اللازم للمذنب ليكمل دورة واحدة. المجموعة الأولى لها زمن دوري أكبر من 200 سنة. أما الزمن الدوري للمجموعة الثانية فأقل من 200 سنة. إن الزمن الدوري للمذنب هال – بوب هو 2400 سنة، وهو مثال على المجموعة الأولى، في حين أن الزمن الدوري لمذنب هالي هو 76 سنة، ويُعدّ مثالاً على المجموعة الثانية.



■ **الشكل 2–1** تدور الكواكب حول الشمس في مدارات إهليلجية، وتكون الشمس في إحدى البؤرتين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

وجد كبلر أن الكواكب تتحرك بسرعة أكبر عندما تكون قريبة من الشمس، بينما تتحرك أبطأ عندما تكون بعيدة عنها. وهكذا ينص **القانون الثاني لكبلر** على أن الخط الوهمي من الشمس إلى الكوكب يمسح مساحات متساوية في أزمنة متساوية، كما في **الشكل 3–1**. وقد توصل كبلر كذلك إلى علاقة رياضية تربط بين الزمن الدوري للكوكب ومتوسط بُعده عن الشمس؛ حيث ينص **القانون الثالث لكبلر** على أن مربع النسبة بين زمنين دوريين لكوكبين حول الشمس يساوي مكعب النسبة بين متوسطي بُعديهما عن الشمس. وهكذا إذا كان الزمنان الدوريان لكوكبين هما T_A وT_B ومتوسط بعديهما عن الشمس r_A وr_B فيصبح القانون الثالث لكبلر على النحو الآتي:



■ **الشكل 3–1** يتحرك الكوكب بأقصى سرعة عندما يكون قريبًا من الشمس، ويتحرك أبطأ عندما يكون بعيدًا عنها. ويمسح مساحات متساوية في أزمنة متساوية.

القانون الثالث لكبلر

$$\left(\frac{r_A}{r_B}\right)^3 = \left(\frac{T_A}{T_B}\right)^2$$

لاحظ أن القانونين الأول والثاني يطبقان على كل كوكب على حدة، أما القانون الثالث فيربط بين حركة أكثر من كوكب حول الجسم نفسه. لذا يستعمل لمقارنة أبعاد الكواكب عن الشمس بأزمانها الدورية، كما في **الجدول 1–1**. ويستعمل لمقارنة الأبعاد والأزمان الدورية للقمر وللأقمار الاصطناعية حول الأرض.

ومما تجدر الإشارة إليه أن مدارات الكواكب حول النجوم تتفاوت في مدى إهليلجية أشكالها؛ فبعضها شبه دائري (مدار كوكب الزهرة مثلاً)، كما أن مدارات الأقمار حول الكواكب شبه دائرية. وسنتعامل هنا مع مدارات الكواكب والأقمار على أنها دائرية؛ لتسهيل إجراء العمليات الرياضية.

الجدول 1–1

بيانات الأجرام

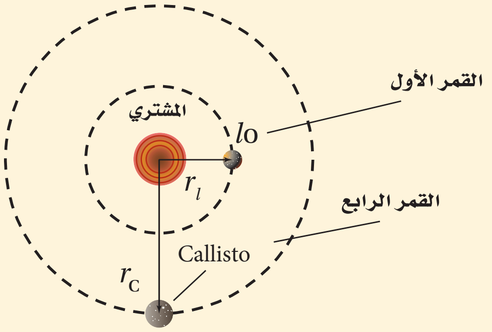
الجرم	متوسط نصف القطر (m)	الكتلة (kg)	متوسط البعد عن الشمس (m)
الشمس	6.96×10^{8}	1.99×10^{30}	—
عطارد	2.44×10^{6}	3.30×10^{23}	5.79×10^{10}
الزهرة	6.05×10^{6}	4.87×10^{24}	1.08×10^{11}
الأرض	6.38×10^{6}	5.98×10^{24}	1.50×10^{11}
المريخ	3.40×10^{6}	6.42×10^{23}	2.28×10^{11}
المشتري	7.15×10^{7}	1.90×10^{27}	7.78×10^{11}
زحل	6.03×10^{7}	5.69×10^{26}	1.43×10^{12}
أورانوس	2.56×10^{7}	8.68×10^{25}	2.87×10^{12}
نبتون	2.48×10^{7}	1.02×10^{26}	4.50×10^{12}

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مثـــال 1

بُعد القمر الرابع عن المشتري قاس جاليليو أبعاد مدارات أقمار المشتري مستعملًا قطر المشتري وحدةَ قياس. ووجد أن الزمن الدوري لأقرب قمر هو 1.8 يوم، وكان على بُعد 4.2 وحدات من مركز المشتري. أما القمر الرابع فزمنه الدوري 16.7 يومًا. احسب بُعد القمر الرابع عن المشتري باستعمال الوحدات التي استعملها جاليليو.

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم مداري القمرين الأول والرابع للمشتري.
- عيّن نصفيْ قطرَي المدارين.

المعلوم	المجهول
$T_C = 16.7$ days $T_l = 1.8$ days	$r_C = ?$
$r_l = 4.2$ units	

2 إيجاد الكمية المجهولة

حل القانون الثالث لكبلر لإيجاد r_C

دليل الرياضيات
فصل المتغير 215

$$\left(\frac{r_C}{r_l}\right)^3 = \left(\frac{T_C}{T_l}\right)^2$$

$$r_C^3 = r_l^3\left(\frac{T_C}{T_l}\right)^2 w$$

بالتعويض: $T_l = 1.8$ يوم و $T_C = 16.7$ يومًا، $r_l = 4.2$ وحدة

$$r_C = \sqrt[3]{r_l^3\left(\frac{T_C}{T_l}\right)^2} = \sqrt[3]{(4.2\ \text{units})^3\left(\frac{16.7\ \text{days}}{1.8\ \text{days}}\right)^2}$$

$$= \sqrt[3]{6.4\times10^3\ \text{units}^3}$$

$$= 19\ \text{units}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** ستكون r_C بوحدات جاليليو مثل r_l.
- **هل الجواب منطقي؟** الزمن الدوري كبير، لذلك سيكون نصف القطر كبيرًا.

مسائل تدريبية

1. الزمن الدوري لأحد أقمار المشتري 7.15 أيام. فكم وحدة يبلغ نصف قطر مداره؟ استعمل المعلومات المُعطاة في مثال 1.
2. يدور كويكب حول الشمس في مدار متوسط نصف قطره يساوي ضعف متوسط نصف قطر مدار الأرض. احسب زمنه الدوري بالسنوات الأرضية.
3. يمكنك أن تجد من **الجدول 1–1** أن بُعد المريخ عن الشمس أكبر 1.52 مرة من بُعد الأرض عن الشمس. احسب الزمن اللازم لدوران المريخ حول الشمس بالأيام الأرضية.
4. الزمن الدوري لدوران القمر حول الأرض 27.3 يومًا، ومتوسط بُعد القمر عن مركز الأرض 3.90×10^5 km.
   - a. استعمل قوانين كبلر لحساب الزمن الدوري لقمر اصطناعي يبعد مداره 6.70×10^3 km عن مركز الأرض.
   - b. كم يبعد القمر الاصطناعي عن سطح الأرض؟
5. استعمل البيانات المتعلقة بالزمن الدوري للقمر ونصف قطر مداره التي يتضمنها السؤال السابق، لحساب متوسط بُعد قمر اصطناعي عن مركز الأرض والذي زمنه الدوري يساوي يومًا واحدًا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

قانون نيوتن في الجذب الكوني
Newton's Law of Universal Gravitation

في عام 1666م، بعد مضي 45 سنة على نشر كبلر نتائجه، بدأ نيوتن دراسة حركة الكواكب، فوجد أن مقدار قوة جذب الشمس F المؤثرة في كوكب تتناسب عكسيًّا مع مربع البعد r بين مركز الكوكب ومركز الشمس؛ أيْ أن F تتناسب طرديًّا مع $\frac{1}{r^2}$، وتؤثر القوة $\boldsymbol{F}$ في اتجاه الخط الواصل بين مركزي الجسمين.

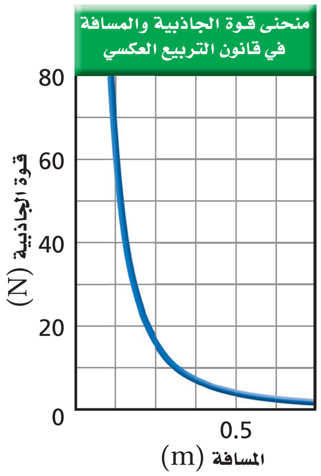
يُقال إن مشاهدة سقوط تفاحة جعلت نيوتن يتساءل: ماذا لو امتد أثر هذه القوة التي تسببت في سقوط التفاحة إلى القمر أو حتى أبعد من ذلك؟ وجد نيوتن أن تسارع كل من التفاحة والقمر متوافق مع العلاقة $\frac{1}{r^2}$. وبحسب قانون نيوتن الثالث فإن القوة التي تؤثر بها الأرض في التفاحة تساوي تلك القوة التي تؤثر بها التفاحة في الأرض. ويجب أن تتناسب قوة التجاذب بين أي جسمين مع كتل هذه الأجسام، وتُسمى هذه القوة **قوة الجاذبية**.

كان نيوتن واثقًا أن قوة التجاذب هذه موجودة بين أي جسمين في أي مكان من هذا الكون. وقد صاغ **قانونه في الجذب الكوني** الذي ينص على أن الأجسام تجذب أجسامًا أخرى بقوة تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب كتلها، وعكسيًّا مع مربع المسافة بين مراكزها. ويمكن تمثيل ذلك بالمعادلة الآتية:

قانون الجذب الكوني

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

قوة الجاذبية تساوي ثابت الجذب الكوني مضروبًا في كتلة الجسم الأول مضروبًا في كتلة الجسم الثاني مقسومًا على مربع المسافة بين مركزي الجسمين.



■ **الشكل 4–1** تتغيّر قوة الجاذبية بتغير المسافة وفق قانون التربيع العكسي.

تبعًا لقانون نيوتن، تتناسب F طرديًّا مع m_1 و m_2، لذلك إذا تضاعفت كتلة الكوكب القريب من الشمس فإن القوة ستتضاعف. استعمل الرياضيات في الفيزياء في الجدول الآتي؛ لمساعدتك على إدراك أن تغير أحد المتغيرات يؤثر في الآخر. و يبين **الشكل 4–1** منحنًى لقانون التربيع العكسي (العلاقة بين قوة الجاذبية والمسافة).

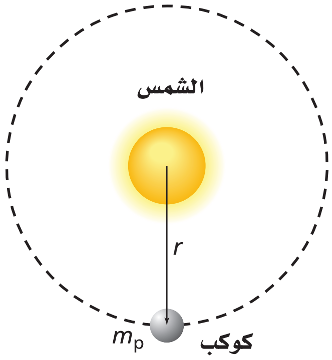
الرياضيات في الفيزياء

العلاقات الطردية والعكسية يحتوي قانون نيوتن في الجذب الكوني كلا التناسبين الطردي والعكسي.

$F \propto \frac{1}{r^2}$		$F \propto m_1 m_2$	
التغير	**النتيجة**	**التغير**	**النتيجة**
$2r$	$\frac{1}{4}F$	$2m_1m_2$	$2F$
$3r$	$\frac{1}{9}F$	$3m_1m_2$	$3F$
$\frac{1}{2}r$	$4F$	$2m_13m_2$	$6F$
$\frac{1}{3}r$	$9F$	$\frac{1}{2}m_1m_2$	$\frac{1}{2}F$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الجذب الكوني والقانون الثالث لكبلر
Universal Gravitation and Kepler's Third Law



■ **الشكل 5–1** كوكب كتلته m_p ونصف قطر مداره r، يدور حول الشمس التي كتلتها m_s.

وضع نيوتن قانون الجذب الكوني بتعابير تنطبق على حركة الكواكب حول الشمس. وهذا يتفق مع القانون الثالث لكبلر، ويؤكد أن قانون نيوتن في الجذب الكوني يتطابق مع أفضل المشاهدات الحديثة.

إذا اعتبرت كوكبًا ما يدور حول الشمس، كما في **الشكل 5–1**، فيمكن كتابة القانون الثاني لنيوتن في الحركة على الصورة $F_{\text{محصلة}} = m_p a_C$، حيث F قوة الجاذبية، و m_p كتلة الكوكب، و a_C التسارع المركزي للكوكب. ولتبسيط أكثر اعتبر المدارات دائرية الشكل. ولأنك درست في الفصل السادس أن التسارع المركزي في الحركة الدائرية المنتظمة يساوي $a_C = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$، لذا يمكن كتابة العلاقة الآتية $F_{\text{محصلة}} = m_p a_C$ على النحو الآتي: $F_{\text{محصلة}} = \frac{m_p 4\pi^2 r}{T^2}$. والمقصود بـ T في هذه المعادلة الزمن اللازم لدوران الكوكب دورة كاملة حول الشمس. وإذا ساويت الحد الأيمن في هذه المعادلة بالحد الأيمن لقانون الجذب الكوني تحصل على النتيجة الآتية:

$$G\frac{m_s m_p}{r^2} = \frac{m_p 4\pi^2 r}{T^2}$$

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{Gm_s}\right) r^3$$

$$T = \sqrt{\left(\frac{4\pi^2}{Gm_s}\right) r^3}$$

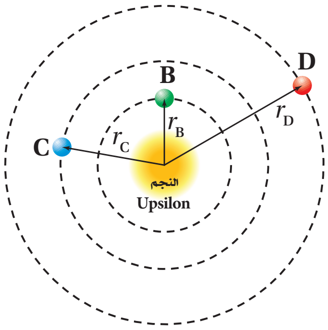
يمكن التعبير عن الزمن الدوري لكوكب يدور حول الشمس كما يأتي:

الزمن الدوري لكوكب يدور حول الشمس $$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_s}}$$

وبتربيع الطرفين يتبين أن هذه المعادلة هي القانون الثالث لكبلر في حركة الكواكب. حيث يتناسب مربع الزمن الدوري طرديًّا مع مكعب المسافة الفاصلة بين مراكز الأجسام. ويعتمد المعامل $\frac{4\pi^2}{Gm_s}$ على كتلة الشمس وثابت الجذب الكوني. وقد وجد نيوتن أن هذا الاشتقاق ينطبق كذلك على المدارات الإهليلجية.

مسألة تحفيز

اكتشف الفلكيون ثلاثة كواكب تدور حول النجم Upsilon وهذه الكواكب هي: الكوكب B الذي يبلغ نصف قطر مداره 0.059 AU وزمنه الدوري 4.6170 أيام، والكوكب C يبلغ نصف قطر مداره 0.829 AU وزمنه الدوري 241.5 يومًا، والكوكب D الذي يبلغ نصف قطر مداره 2.53 AU وزمنه الدوري 1284 يومًا. (المسافة بين الأرض والشمس تساوي 1.00 AU)



1. هل تحقق هذه الكواكب القانون الثالث لكبلر؟

2. أوجد كتلة النجم Upsilon بدلالة كتلة الشمس.

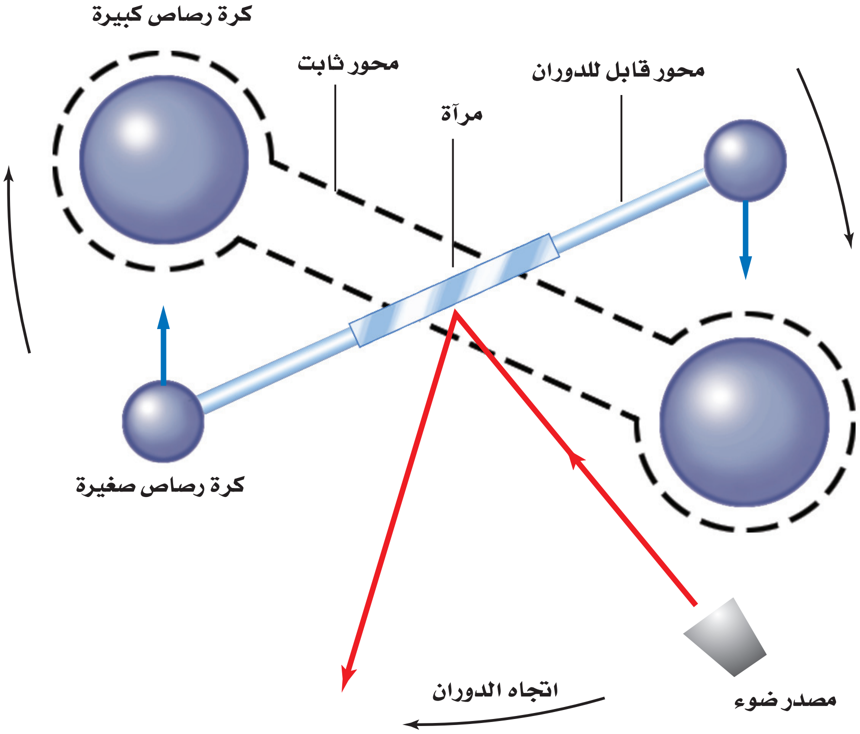
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

قياس ثابت الجذب الكوني
Measuring the Universal Gravitational Constant

ما قيمة ثابت الجذب الكوني G؟ تبدو قوة التجاذب بين جسمين على الأرض ضعيفة نسبيًّا، ويصعب الكشف عن هذه القوة بين كتلتي كرتي البولنج مثلًا. في الواقع استغرق الأمر 100 عام بعد نيوتن ليتمكن العلماء من تصميم جهاز حساس بما يكفي لقياس قوة الجاذبية.

تجربة كافندش استعمل العالم هنري كافندش في عام 1798م جهازًا، كما في **الشكل 6–1**، لقياس قوة الجاذبية بين جسمين. وللجهاز ذراع أفقية تحمل كرتين من الرصاص عند نهايتيها. وهذه الذراع معلقة من منتصفها بسلك رفيع قابل للدوران. ولأن الذراع معلقة بسلك رفيع فهي حساسة لأي قوة أفقية. ولقياس G، وضع كافندش كرتين ثقيلتين من الرصاص قريبتين من الكتلتين الصغيرتين، كما يبين **الشكل 7–1**. وقد أدت قوة التجاذب بين الكرتين الكبيرة والصغيرة إلى دوران الذراع. وعند تساوي قوة اللّيّ للسلك الرفيع وقوة التجاذب بين الكرات، تتوقف الذراع عن الدوران. وقد تمكن كافندش من قياس قوة التجاذب بين الكتل من خلال قياسه للزاوية التي شكّلها دوران الذراع؛ حيث تقاس الزاوية التي يشكلها دوران الذراع بالشعاع المنعكس عن مرآة مستوية. وقد تمكن كافندش – من خلال قياس الكتل والمسافة بين مراكز الكرات، والتعويض بذلك مستعملًا قانون نيوتن في الجذب الكوني – من تحديد قيمة تجريبية للثابت G، حيث $G = 6.67 \times 10^{-11}\ N.m^2/kg^2$، وذلك عندما تكون وحدة قياس m_1 و m_2 بـ (kg)، و r بـ (m)، و F بـ (N).

■ **الشكل 6–1** تستعمل موازين كافندش الحديثة لقياس قوى الجذب بين جسمين.



■ **الشكل 7–1** عند وضع الكرات الكبيرة بالقرب من الصغيرة تؤدي قوة الجاذبية إلى دوران الذراع. ويقاس الدوران بمساعدة الشعاع الضوئي المنعكس.

أهمية الثابت G تسمى تجربة كافندش أحيانًا "إيجاد كتلة الأرض"؛ لأنها ساعدت على حساب كتلة الأرض. وبمعرفة قيمة الثابت G يمكن حساب كتلة الشمس أيضًا، إضافةً إلى حساب قوة الجاذبية بين أي كتلتين، وذلك بتطبيق قانون نيوتن في الجذب الكوني. فمثلاً، قوة التجاذب بين كرتي بولنج كتلة كل منهما 7.26 kg والمسافة بين مركزيهما 0.30 m يمكن حسابها على النحو الآتي:

$$F_g = \frac{(6.67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N.m^2/kg^2})\ (7.26\ \mathrm{kg})\ (7.26\ \mathrm{kg})}{(0.30\ \mathrm{m})^2}$$

$$F_g = 3.9 \times 10^{-8}\ \mathrm{N}$$

وتعلم أن وزن جسم كتلته m على سطح الأرض هو مقياس لقوة جذب الأرض له $F_g = mg$. فإذا سميت كتلة الأرض m_E ونصف قطر الأرض r_E فإن:

$$F_g = G\frac{m_E m}{r_E^2} = mg$$

وينتج عن ذلك أن

$$g = G\frac{m_E}{r_E^2}$$

ويمكن إعادة كتابة هذه المعادلة بدلالة m_E، أي $m_E = \frac{g\, r_E^2}{G}$

وبما أن $r_E = 6.38 \times 10^6\ \mathrm{m}$؛ $g = 9.80\ \mathrm{m/s^2}$؛ وكذلك $G = 6.67 \times 10^{-11}\ \frac{\mathrm{N.m^2}}{\mathrm{kg^2}}$

فإننا نحصل على القيمة الآتية لكتلة الأرض:

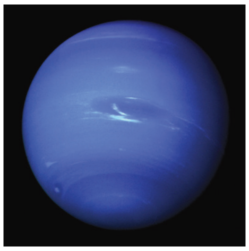
$$m_E = \frac{(9.80\ \mathrm{m/s^2}) \times (6.38 \times 10^6\ \mathrm{m})^2}{(6.67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N.m^2/kg^2})}$$

$$= 5.98 \times 10^{24}\ \mathrm{kg}$$

وعندما تقارن كتلة الأرض بكتلة كرة البولنج تدرك لماذا لا تظهر بوضوح قوة التجاذب بين الأجسام التي نشاهدها في حياتنا اليومية. لقد ساعدت تجربة كافندش على تحديد قيمة الثابت G، وأكدت توقعات نيوتن من حيث وجود قوة تجاذب بين أي جسمين، وساعدت أيضًا على حساب كتلة الأرض.

1-1 مراجعة

6. الزمن الدوري لنبتون يدور نبتون حول الشمس في مدار نصف قطره 4.495×10^{12} m، مما يسمح للغازات– ومنها الميثان– بالتكثف وتكوين جوٍّ كما يوضحه **الشكل 8–1**. إذا كانت كتلة الشمس 1.99×10^{30} kg، فاحسب الزمن الدوري لنبتون.



الشكل 8–1

7. الجاذبية إذا بدأت الأرض في الانكماش، ولكن كتلتها بقيت ثابتة، فماذا يمكن أن يحدث لقيمة تسارع الجاذبية g على سطحها؟

8. قوة الجاذبية ما قوة الجاذبية بين جسمين كتلة كل منهما 15 kg والمسافة بين مركزيهما 35 cm؟ وما نسبة هذه القوة إلى وزن أي منهما؟

9. ثابت الجذب الكوني أجرى كافندش تجربته باستعمال كرات مصنوعة من الرصاص. افترض أنه استبدل بكرات الرصاص كرات من النحاس ذات كتل متساوية فهل تكون قيمة G هي نفسها أم تختلف؟ وضح ذلك.

10. التفكير الناقد يحتاج رفع صخرة على سطح القمر إلى قوة أقل من التي تحتاج إليها على الأرض.

a. كيف تؤثر قوة الجاذبية الضعيفة على سطح القمر في مسار الحجر عند قذفه أفقيًّا؟

b. إذا سقط الحجر على إصبع شخص، فأيهما يؤذيه أكثر: سقوطه –من الارتفاع نفسه– على سطح القمر، أم على سطح الأرض؟ فسّر ذلك.

◄ الأهداف

- **تحل** مسائل على الحركة المداريّة.
- **تربط** انعدام الوزن مع أجسامٍ في حالة سقوطٍ حر.
- **تصف** مجال الجاذبية.
- **تقارن** بين كتلة القصور وكتلة الجاذبية.
- **تقارن** بين وجهتي نظر نيوتن وأينشتاين حول الجاذبية.

◄ المفردات

مجال الجاذبية
كتلة القصور
كتلة الجاذبية
مبدأ التكافؤ

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

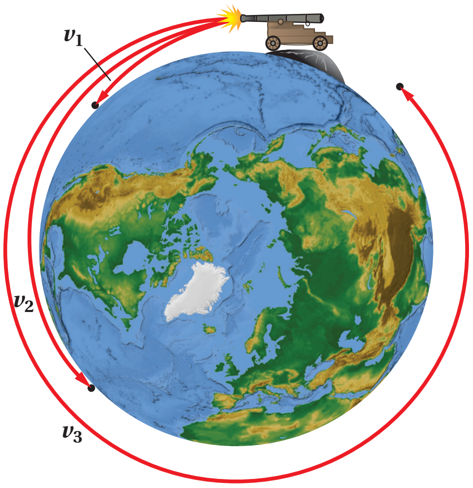
اكتُشف الكوكب أورانوس عام 1781م، وبحلول عام 1830م كان واضحًا أن مدار أورانوس الذي تم حسابه بقانون الجاذبية لا يتَّفق مع المدار الفعلي لهـذا الكوكب. فاقترح عالمـان فلكيان وجود كوكب آخر غير مكتشـف يجذب أورانوس بالإضافة إلى جذب الشـمس له. وقد قاما بحساب مدار هذا الكوكب عام 1845م، وبعد سـنة أعلن فلكيون في مرصـد برلين أنهم وجدوا ذلك الكوكب الذي يعرف اليوم بنبتون.

مدارات الكواكب والأقمار الاصطناعية Orbits of Planets and Satellites

استخدم نيوتن رسمًا، كما في **الشكل 9–1**؛ ليوضح تجربة ذهنية، فتخيّل مدفعا يطلق قذيفة في اتجـاه أفقي بسرعة معينة. هذه القذيفة لها سرعة أفقية وأخرى رأسـية، ولذلك يكون مسارها قطعًا مكافئًا، ثم تسقط على الأرض.

إذا زادت السرعة الأفقية للقذيفة ستقطع مسافة أطول على سطح الأرض، ولكنها ستسقط في النهاية على سـطحها. أما إذا كان هناك مدفع ضخم تنطلق منه القذيفة بسرعة مناسـبة فإن القذيفة تسير المسافة كاملةً حول الأرض وتستمر في ذلك، أي أن القذيفة ستتحرك في مدار دائري حول الأرض.

لقد أهملت تجربة نيوتن الذهنية مقاومة الهـواء المحيط بالأرض. ولكي تتخلص القذيفة من مقاومة الهواء يجب أن تُطلق من مدفع على جبل ارتفاعه أكثر من 150 km فوق سطح الأرض. وبالمقارنة فإن الجبل سيكون أعلى كثيرًا من قمة جبل إفرست التي يبلغ ارتفاعها 8.85 km. إن قذيفـة تطلق من ارتفاع 150 km لن تواجـه مقاومة الهواء؛ لأنها تكون خارج معظم الغلاف الجوي الأرضي. لذا فإن قذيفة أو قمرًا اصطناعيًّا عند هذا الارتفاع سيدور في مدار ثابت حول الأرض.



■ **الشكل 9–1** السرعة الأفقية v_1 ليست كبيرة، لذا ستسقط القذيفة على الأرض. وعند سرعة أكبر v_2 فإن القذيفة تقطع مسافة أكبر. وتقطع القذيفة المسار كله حول الأرض عندما تكون السرعة v_3 كبيرة بدرجة كافية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

يتحرك القمر الاصطناعي الذي يدور على ارتفاع ثابت عن الأرض حركة دائرية منتظمة. تذكّر أن تسارعه المركزي يُعبّر عنه بالعلاقة الآتية: $a_c = \frac{v^2}{r}$، لذا يكتب القانون الثاني لنيوتن على الصورة الآتية: $F_{محصلة} = \frac{mv^2}{r}$. فإذا كانت كتلة الأرض m_E، ودُمج هذا القانون مع قانون نيوتن في الجذب الكوني، فإنه يُعبّر عنه بالعلاقة:

$$G\frac{m_E m}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$$

ولذا تحصل على مقدار سرعة القمر الاصطناعي الذي يدور حول الأرض بالعلاقة:

$$v=\sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

الزمن الدوري للقمر الاصطناعي مدار القمر الاصطناعي حول الأرض يشبه مدار كوكب حول الشمس. وتعلم أن الزمن الدوري للكوكب حول الشمس يُعبّر عنه بالعلاقة:

$$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_s}}$$

لذا فإن الزمن الدوري للقمر الاصطناعي حول الأرض يُعبّر عنه بالعلاقة:

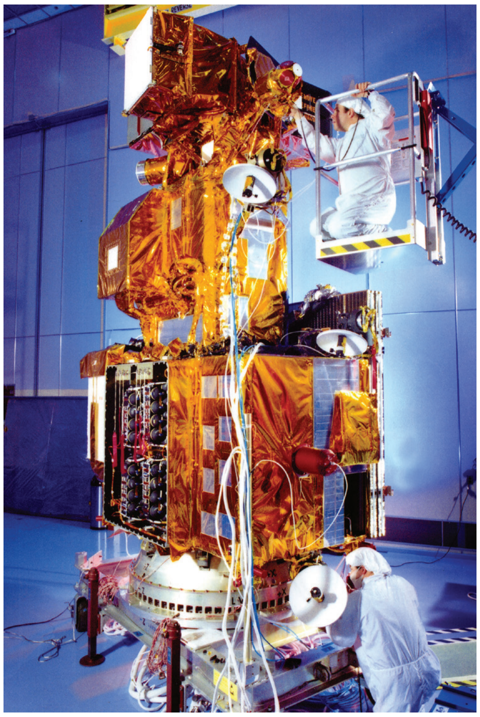
$$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_E}}$$

يمكن استعمال معادلتي سرعة القمر الاصطناعي وزمنه الدوري لأي جسم آخر يتحرك في مدار حول جسم ثانٍ. ويحل محل m_E في المعادلتين كتلة الجسم المركزي، وستكون r المسافةَ بين مركز الجسم الذي يتحرك في المدار ومركز الجسم المركزي. أمّا إذا كانت كتلة الجسم المركزي أكبر كثيرًا من كتلة الجسم الذي يتحرك في المدار فإن r ستكون المسافةَ بين الجسم الذي يتحرك في المدار ومركز الجسم المركزي. إن السرعة المدارية v والزمن الدوري T مستقلان عن كتلة القمر الاصطناعي. فهل هناك أي عوامل تحد من كتلة القمر الاصطناعي؟

كتلة القمر الاصطناعي يزودنا القمر الاصطناعي لاندسات 7 الموضح في **الشكل 10–1** بصور سطحية للأرض، تستعمل في رسم الخرائط ودراسة الاستغلال الأمثل للأرض، كما يقوم هذا القمر بعمل مسح للمصادر الأرضية والخامات والتغيرات التي تحدث على الكرة الأرضية. ويمكن تسريع مثل هذه الأقمار باستعمال الصواريخ التي تزوّدها بالسرعة المناسبة من أجل وضعها في مداراتها حول الأرض. ولأن تسارع أي جسم يحسب بقانون نيوتن الثاني في الحركة، $F=ma$، فإنه كلما زادت كتلة القمر تطلّب ذلك صاروخًا أقوى لإيصاله إلى مداره.

تطبيق الفيزياء

المدار المتزامن مع الأرض يدور القمر الاصطناعي GOES–12 للتوقعات الجوية حول الأرض دورة كل يوم على ارتفاع 35,785 km. وتطابق السرعة المدارية للقمر معدل دوران الأرض، لذا يبدو القمر بالنسبة لمراقب على الأرض كأنه فوق بقعة معينة على خط الاستواء. ولذلك يُوجّه طبق الاستقبال على الأرض في اتجاه معين، ولا يلزم تغيير اتجاهه لالتقاط الإشارات المرسلة من القمر الاصطناعي.



الشكل 10–1 يوجّه القمر الاصطناعي لاندسات 7 عن بُعد، وكتلته 2200 kg، ويدور حول الأرض على ارتفاع 705 km.

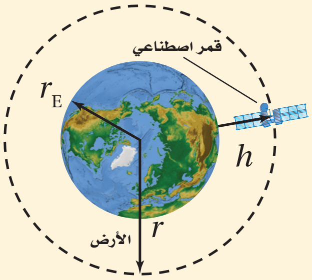
الربط مع علم الأرض

مثـــال 2

السرعة المدارية والزمن الدوري افترض أن قمرًا اصطناعيًّا يدور حول الأرض على ارتفاع 225 km فوق سطحها. فإذا علمت أن كتلة الأرض تساوي 5.97×10^{24} kg ونصف قطر الأرض 6.38×10^{6} m، فما مقدار سرعة القمر المدارية وزمنه الدوري؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الوضع مبيِّنًا ارتفاع المدار.



المعلوم		المجهول
$r_E = 6.38\times10^{6}$ m	$h = 2.25\times10^{5}$ m	$v = ?$
$G = 6.67\times10^{-11}$ N.m²/kg²	$m_E = 5.97\times10^{24}$ kg	$T = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد نصف قطر المدار بإضافة ارتفاع القمر عن الأرض إلى نصف قطر الكرة الأرضية.

$$r = h + r_E$$

بالتعويض $h = 2.25\times10^{5}$ m ،$r_E = 6.38\times10^{6}$ m

$$= 2.25\times10^{5}\ \text{m} + 6.38\times10^{6}\ \text{m} = 6.61\times10^{6}\ \text{m}$$

احسب السرعة

$$v = \sqrt{\frac{Gm_E}{r}} = \sqrt{\frac{(6.67\times10^{-11}\ \text{N.m}^2/\text{kg}^2)(5.97\times10^{24}\ \text{kg})}{6.61\times10^{6}\ \text{m}}}$$

بالتعويض $G = 6.67\times10^{-11}$N.m²/kg² و $m_E = 5.97\times10^{24}$kg و $r = 6.61\times10^{6}$m

$$= 7.76\times10^{3}\ \text{m/s}$$

احسب الزمن الدوري

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{G\,m_E}}$$

بالتعويض $G = 6.67\times10^{-11}$N.m²/kg²
$m_E = 5.97\times10^{24}$kg و $r = 6.61\times10^{6}$m

$$= 2\pi\sqrt{\frac{(6.61\times10^{6}\ \text{m})^3}{(6.67\times10^{-11}\ \text{N.m}^2/\text{kg}^2)(5.97\times10^{24}\ \text{kg})}}$$

$$= 5.35\times10^{3}\ \text{s}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة السرعة هي m /s، ووحدة الزمن الدوري هي الثانية.

مسائل تدريبية

افترض أن مدار الأقمار دائري عند حل المسائل الآتية:

11. افترض أن القمر في المثال الســـابق تحرك إلى مدار نصف قطره أكبر 24 km من نصف القطر الســـابق، فكم يصبح مقدار سرعته؟ وهل هذه السرعة أكبر أم أقل ممّا في المثال السابق؟

12. استعمل تجربة نيوتن الذهنية في حركة الأقمار الاصطناعية لحل ما يأتي:

a. حساب مقدار سرعة إطلاق قمر اصطناعي من مدفع بحيث يصبح في مدار يبعد 150 km عن سطح الأرض.

b. احسب الزمن الذي يستغرقه القمر الاصطناعي (بالثواني والدقائق) ليكمل دورة حول الأرض ويعود إلى المدفع.

13. استعمل البيانات المتعلقة بعطارد المعطاة في **الجدول 1–1** لإيجاد ما يأتي:

a. مقدار سرعة قمر اصطناعي في مدار على بُعد 260 km من سطح عطارد.

b. الزمن الدوري لهذا القمر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تسارع الجاذبية الأرضية
Acceleration Due To Gravity

يمكن إيجاد تسارع الأجسام الناشئ عن الجاذبية الأرضية باستعمال القانون الثاني لنيوتن وقانون الجذب الكوني، وذلك من خلال تطبيق المعادلة الآتية على الجسم الذي كتلته m ويسقط سقوطًا حرًّا:

$$F = \frac{Gm_E m}{r^2} = ma$$

ولذلك فإن

$$a = \frac{Gm_E}{r^2}$$

وبما أن $a = g$ و $r = r_E$ عند سطح الأرض، لذا يمكن التعبير عن ذلك بالعلاقتين:

$$g = \frac{Gm_E}{r_E^2}$$

$$m_E = \frac{g\, r_E^2}{G}$$

وإذا عوضنا عن m_E في العلاقة $a = \frac{Gm_E}{r^2}$ للجسم الساقط سقوطًا حرًّا سنحصل على:

$$a = G\,\frac{\frac{g\, r_E^2}{G}}{r^2}$$

وبالتالي فإن

$$a = g\left(\frac{r_E}{r}\right)^2$$

يوضح هذا أنه كلما ابتعدت عن الأرض فإن التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية يقل تبعًا لعلاقة التربيع العكسي هذه. ترى، ماذا يحدث لوزنك F_g كلما ابتعدت أكثر وأكثر عن مركز الأرض؟

الوزن وانعدام الوزن من المحتمل أنك شاهدت صورًا مشابهة لتلك الموضحة في **الشكل 11–1**، حيث يظهر رواد الفضاء في مركبة فضائية في حالة تسمى (zero– g) أو انعدام الوزن. يدور المكوك على ارتفاع 400 km فوق سطح الأرض، وعند هذه المسافة يكون $g = 8.7\ m/s^2$؛ أيْ أقل قليلاً من قيمته على سطح الأرض. لذا فإن قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في المكوك لا تساوي صفرًا بالتأكيد. وتسبب هذه الجاذبية دوران المكوك حول الأرض. فلماذا يبدو رواد الفضاء إذًا عديمي الوزن؟

تذكّر أنك تشعر بوزنك عندما يؤثر فيك شيء بقوة تماسّ كالأرض أو الكرسي. لكن إذا كنت أنت والكرسي وأرض الغرفة، تتسارعون بالكيفية نفسها في اتجاه الأرض فإنه لا توجد قوى تماس تؤثر فيك. لذا يكون وزنك الظاهري صفرًا وتشعر بانعدام الوزن. وكذلك يشعر رواد الفضاء في المكوك.

تجربة

ماء عديم الوزن

يُجرى هذا النشاط خارج الفصل.

استعمل قلم رصاص لإحداث فتحتين في كأس ورقية: إحداهما في قاع الكأس والأخرى في جانبها، ثم أغلق الفتحتين بإصبعيك واملأ ثلثي الكأس بالماء الملون.

1. **توقع** ما يحدث عندما تُسقط الكأس سقوطًا حرًّا.
2. **اختبر توقعك**: أسقط الكأس، وراقب ما يحدث.

التحليل والاستنتاج

3. **صف** مشاهداتك.
4. **فسّر** النتائج.

الشكل 11–1 يظهر أحد رواد الفضاء في حالة انعدام الوزن في مكوك الفضاء كولومبيا، حيث يسقط المكوك بما فيه سقوطًا حرًّا في اتجاه الأرض

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مجال الجاذبية
The Gravitational Field

تذكر من الفصل الرابع أن الكثير من القوى هي قوى تماس. فالاحتكاك يتولد عند تلامس جسمين، ومن ذلك دفع الأرض أو الكرسي عليك. لكن الجاذبية مختلفة؛ فهي تؤثر في التفاحة التي تسقط من الشجرة، وتؤثر في القمر. أيْ أن الجاذبية تؤثر عن بُعد، وهي تعمل بين أجسام غير متلامسة، أو قد تكون بعيدة. وقد انشغل نيوتن بذلك وكان يتساءل: كيف تؤثر الشمس بقوة في الأرض البعيدة؟

جاء الجواب عن هذا التساؤل من خلال دراسة المغناطيسية. ففي القرن التاسع عشر طوّر فارادي مفهوم المجال لتفسير كيفية جذب المغناطيس للأشياء. ثم طُبق مبدأ المجال على الجاذبية. فكل جسم له كتلة محاط **بمجال جاذبي** يؤثر من خلاله بقوة في أي جسم آخر يوجد في ذلك المجال نتيجة التفاعل المتبادل بين كتلته والمجال الجاذبي $\boldsymbol{g}$. ويوصف ذلك بالمعادلة الآتية:

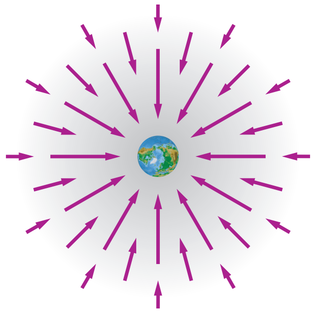
المجال الجاذبي $$g = \frac{GM}{r^2}$$

المجال الجاذبي يساوي ثابت الجذب الكوني مضروبًا في كتلة الجسم، مقسومًا على مربع البعد عن مركز الجسم. ويكون اتجاهه في اتجاه مركز الكتلة.

افترض أن هناك مجالاً جاذبيًّا ناتجًا عن الشمس، فإن أي كوكب كتلته m سيخضع لقوة تؤثر فيه، تعتمد على كتلة الكوكب ومقدار المجال في ذلك المكان؛ أيْ $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{g}$ في اتجاه الشمس.

تنتج القوة بسبب تفاعل كتلة الكوكب مع المجال الجاذبي في مكان وجود الكوكب وليس مع الشمس نفسها التي تبعد ملايين الكيلومترات. وإذا أردنا إيجاد المجال الجاذبي الذي يسببه أكثر من جسم فيجب حساب المجال الجاذبي لكل جسم، ثم تُجمع جمعًا اتجاهيًّا. ويمكن حساب مجال الجاذبية بوضع جسم كتلته m في المجال، ثم تقاس القوة المؤثرة فيه، وتقسم القوة F على الكتلة m، كما في العلاقة الآتية: $g = F/m$، حيث يُقاس المجال الجاذبي بوحدة N/kg التي تساوي أيضًا m/s^2 .

إن شدة المجال الجاذبي عند سطح الأرض تساوي 9.80 N/kg في اتجاه مركز الأرض. ويمكن تمثيل المجال بمتجه طوله g يشير إلى مركز الجسم الذي يُنتج هذا المجال. ويمكنك تصور مجال الأرض بمجموعة من المتجهات تحيط بالأرض وتشير إلى مركزها، **الشكل 12–1**. ويتناسب المجال عكسيًّا مع مربع البعد عن مركز الأرض، كما يعتمد على كتلة الأرض لا على كتلة الجسم.



الشكل 12–1 تشير كل المتجهات الممثلة لمجال الجاذبية إلى اتجاه مركز الأرض. ويضعف المجال كلما ابتعدنا عن الأرض.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

نوعا الكتلة

Two Kinds of Mass

لقد درست سابقًا مفهوم الكتلة وتم تعريف ميل المنحنى في الرسم البياني للتسارع – القوة أنه مقلوب الكتلة ، ويعبر عنه بالعلاقة $k=\frac{1}{m}$. ومن العلاقة الخطية بين القوة والتسارع تم التوصل إلى أن: $a \propto F$، ومنها $a=kF$، ومن ثم فإن $a=\frac{1}{m}F$، ولذا فإن $m=\frac{F}{a}$؛ أيْ أن الكتلة هي نسبة مقدار القوة المحصلة المؤثرة في جسم ما إلى مقدار تسارعه. ويسمى هذا النوع من الكتلة المرتبط بقصور الجسم **كتلة القصور**، وتُمثل بالمعادلة:

كتلة القصور $$m_{\text{القصور}} = \frac{F_{\text{محصلة}}}{a}$$

كتلة القصور تساوي مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الجسم مقسومة على مقدار تسارعه.

تجربة عملية

هل كتلة القصور تساوي كتلة الجاذبية؟

ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين الإثرائية

تُقاس كتلة القصور بالتأثير بقوة في الجسم ثم قياس تسارعه باستعمال ميزان القصور، ومنها الميزان الموضح في **الشكل 13–1**. وكلما كانت كتلة الجسم أكبر كان الجسم أقل تأثرًا بأي قوة، لذا يكون تسارعه أقل. وتُعد كتلة القصور مقياسًا لممانعة أو مقاومة الجسم لأي نوع من أنواع القوى المؤثرة فيه.

يحتوي قانون نيوتن في الجذب الكوني على كتلة، غير أنها نوع آخر من الكتل. وتحدد الكتلة المستعملة في هذا القانون مقدار قوة الجاذبية بين جسمين، وتسمى **كتلة الجاذبية**. ويمكن

■ **الشكل 13–1** يُمكّنك ميزان القصور من حساب كتلة القصور لجسم ما من خلال الزمن الدوري T لحركة الذهاب والإياب للجسم. وتستعمل كتل معايرة كما في الشكل للحصول على منحنى بين T^2 والكتلة، ثم يقاس الزمن الدوري للكتلة المجهولة التي يمكن معرفتها من الرسم.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

■ **الشكل 14–1** يُمكّننا الميزان ذو الكفتين المبين في الشكل من قياس كتل الأجسام؛ وذلك بمقارنة قوة جذب الأرض لها بقوة جذبها لكتل معيارية.

قياسها باستعمال الميزان ذي الكفتين كما في **الشكل 14–1**. فإذا قِسْتَ قوة الجذب المؤثرة في جسم من جسم آخر كتلته m، وعلى بُعد r أمكنك تعريف كتلة الجاذبية بالطريقة الآتية:

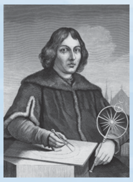
تجربة عملية
كيف تقيس الكتلة؟
ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين الإثرائية

كتلة الجاذبية

$$m_{\text{الجاذبية}} = \frac{r^2 F_{\text{الجاذبية}}}{Gm}$$

كتلة الجاذبية لجسم ما تساوي مربع المسافة بين الجسمين مضروبة في مقدار قوة الجاذبية بين الجسمين مقسومة على حاصل ضرب ثابت الجذب الكوني في كتلة الجسم الثاني.

الشكل 15–1 التطورات التي شهدها علم الفلك حول حركة الكواكب والجاذبية.



في عام 1543 م في عصر النهضة الأوروبية، قدم نيكولاس كوبرنيكس نموذج مركزية الشمس؛ حيث تدور الكواكب حول الشمس، لا حول الأرض.

1400 — 600

في نحو عام 370 ق.م صمم الإغريق نظامًا ميكانيكيًّا لشرح حركات الكواكب. اقترح يودوكسوس أن الكواكب والشمس والقمر والنجوم تدور كلها حول الأرض. وفي القرن الرابع قبل الميلاد أدخل أرسطو هذه النظرية الهندسية، وهي نظرية مركزية الأرض، في نظامه الفلسفي.

اهتم المسلمون بدراسة علم الفلك، لمعرفة أوقات الصلاة بحسب الموقع الجغرافي والفصل الموسمي، وتحديد اتجاه القبلة، ورؤية هلال رمضان، واخترعوا حسابات وطرائق بديعة لم يسبقهم إليها أحد. ويعود إلى المسلمين فضل تخليص علم الفلك من الشعوذة والدجل وجعله علمًا خالصًا يعتمد على النظريّة والبرهان.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

كيف يختلف نوعا الكتلتين؟ إذا كان لديك بطيخة في أرضية صندوق سيارتك، فإذا تسارعت السيارة في اتجاه الأمام فإن البطيخة ستتدحرج إلى الخلف بالنسبة إلى السيارة، وهذا بسبب كتلة قصور البطيخة التي تقاوم التسارع، وإذا بدأت السيارة بصعود منحدر ، فإن البطيخة ستتدحرج إلى الخلف مرة أخرى ولكنها ستنجذب هذه المرة بسبب كتلة الجاذبية إلى أسفل في اتجاه الأرض. وقد أعلن نيوتن أن كتلة القصور وكتلة الجاذبية متساويتان من حيث المقدار. ويسمى هذا **مبدأ التكافؤ**. وكل التجارب التي أُجريت حتى الآن توصلت إلى نتائج تدعم صحة هذا المبدأ. وكان العالم ألبرت أينشتاين أيضًا مهتمًّا بمبدأ التكافؤ وجعله نقطة رئيسة في نظريته عن الجاذبية. ويبين **الشكل 15–1** التطورات التي شهدها علم الفلك حول حركة الكواكب والجاذبية.

نظرية أينشتاين في الجاذبية
Einstein's Theory of Gravity

يمكّننا قانون نيوتن في الجذب الكوني من حساب قوة الجاذبية المتبادلة بين جسمين بسبب كتلتيهما.

إن مفهوم مجال الجاذبية يتيح لنا تصور طريقة تأثير الجاذبية في الأجسام عندما تكون بعيدة بعضها عن بعض. افترض أينشتاين أن الجاذبية ليست مجرد قوة، بل هي تأثير من الفضاء نفسه، وبناءً على فرضية أينشتاين فإن الكتل تغير الفضاء (الزمكان) المحيط بها، فتجعله منحنيًا، وتتسارع الأجسام الأخرى بسبب الطريقة التي تسير بها في هذا الفضاء المنحني.

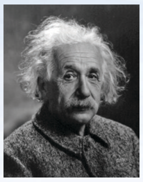
فاز ثلاثة علماء أمريكيين بجائزة نوبل في الفيزياء لعام 2017 تقديرا لإسهاماتهم الحاسمة في رصد موجات الجاذبية، وهي تموجات في نسيج الزَّمْكان تنبأت بها النظرية النسبية العامة لألبرت أينشتاين.

1600

يعد كبلر أول من وضع نظامًا لوصف تفاصيل حركة الكواكب حول الشمس في مدارات إهليلجية. ورغم ذلك، لم ينجح كبلر في صياغة نظرية تدعم القوانين التي سجّلها.

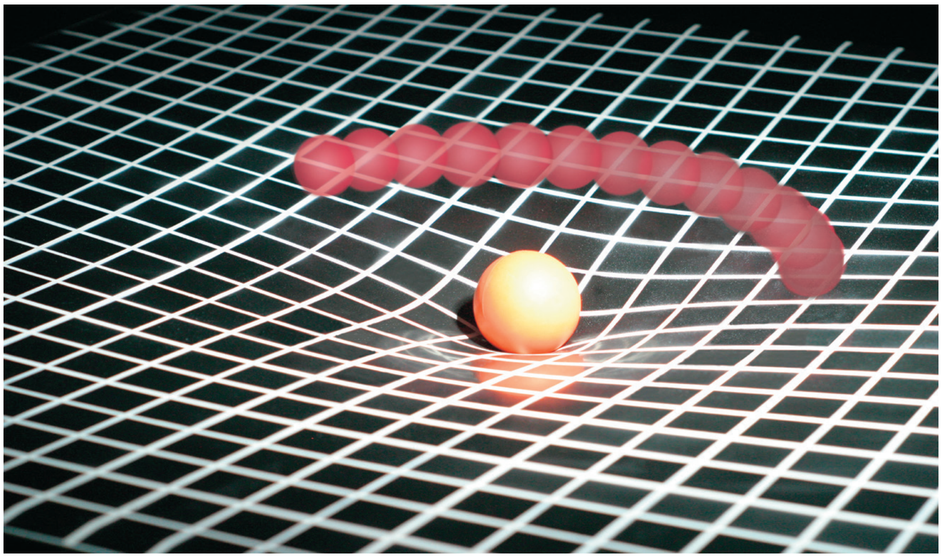
قدم نيوتن قانون الجاذبية العام ليفسّر حركة الكواكب، واستطاع تفسير الإشكالات التي لم تستطع قوانين كبلر تفسيرها.

1900



النظرية النسبية العامة هي نظرية هندسية للجاذبية، نشرها ألبرت أينشتاين عام 1916م، وتمثّل الوصف الحالي للجاذبية في الفيزياء الحديثة، وذلك بتعميمها للنسبية الخاصة وقانون الجذب العام لنيوتن، وإعطاء وصف موحّد للجاذبية كخاصية هندسية للمكان والزمان، أو الزَّمْكان.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 16–1** تسبب المادة انحناء الفضاء (الزمكان) تماما كما يؤثر جسم في شبك مطاطي حوله. الأجسام المتحركة بالقرب من الكتلة تسلك مسارًا منحنيًا في الفضاء. تتحرك الكرة الحمراء في اتجاه حركة عقارب الساعة حول الكتلة المركزية.

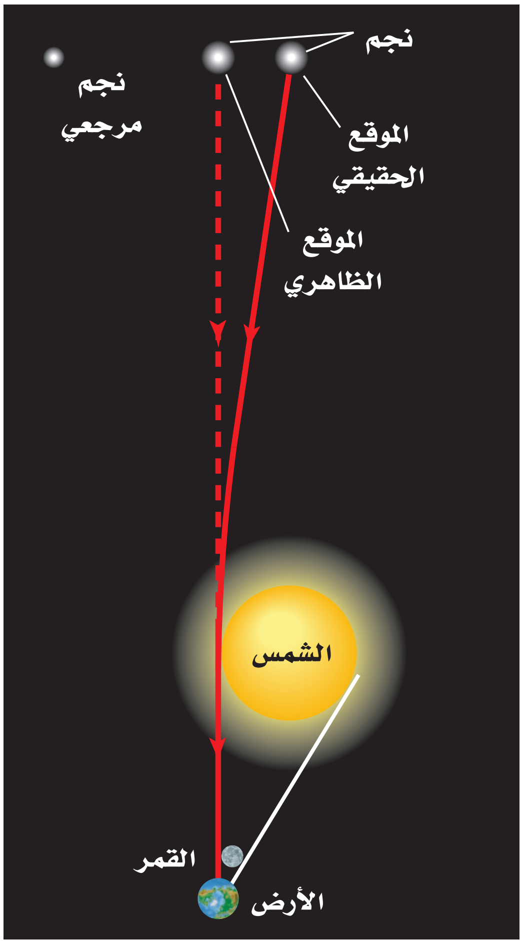
من طُرق تصور كيفية تأثر الفضاء بالكتلة، مقارنة الفضاء بشبكة كبيرة من المطاط ثنائية الأبعاد، كما هو موضح في **الشكل 16 – 1**، حيث تمثل الكرة الصفراء جسمًا كتلته كبيرة جدًّا على الشبكة، وهي تسبب الانحناء. والكرة الحمراء تدور عبر الشبكة، وتحاكي حركة كوكب حول نجم في الفضاء (الزمكان).

تتسارع الكرة الحمراء عندما تتحرك بالقرب من المنطقة المنحنية من الشبكة. وبالطريقة نفسها فإن كلًّا من الشمس والأرض تجذب الأخرى؛ بسبب طريقة تشوه الفضاء الناجم عن الجسمين.

وقد تنبأت نظرية أينشتاين ـ التي تسمى النظرية النسبية العامة ـ بعدة تنبؤات حول كيفية تأثير الأجسام ذات الكتل الكبيرة بعضها في بعض. وقد أعطت نتائج صحيحة لكل الاختبارات التي أجريت في الفترات اللاحقة.

انحراف الضوء تنبأت نظرية أينشتاين بانحراف الضوء عند مروره بالقرب من أجسام ذات كتل كبيرة جدًّا، حيث يتبع الضوء الفضاء المنحني حول الأجسام ذات الكتل الكبيرة مما يؤدي إلى انحنائه، كما هو موضح في **الشكل 17 – 1**.

لاحظ علماء الفلك في أثناء كسوف الشمس سنة 1919م أن الضوء القادم من النجوم البعيدة، الذي يمر بالقرب من الشمس، قد انحرف عن مساره بما يحقق تنبؤات أينشتاين.



■ **الشكل 17–1** الضوء القادم من النجوم البعيدة يتأثر بمجال جاذبية الشمس. الرسم للتوضيح ولا يمثل مقياس رسم حقيقي.

ومن نتائج النسبية العامة أيضًا تأثير الأجسام ذات الكتل الكبيرة في الضوء. فإذا كانت كتلة الجسم كبيرة جدًّا وكثافته كبيرة بشكل كاف فإن الضوء الخارج

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

منه يرتدّ إليه بشـــكل كامل، وبذلك لا يستطيع الضوء الخروج منه أبدًا. وتسمى مثل هذه الأجســام الثقوب السوداء. ويســتدل على وجودها من خلال تأثيرها في النجوم القريبة منها. كما يُستفاد من الأشعة الناتجة عن انجذاب المادة إلى الثقوب السوداء وسقوطها فيها في تحديد هذه الثقوب والكشف عن أماكن وجودها.

وعلى الرغم من أن نظرية أينشتاين تنبأت بشكل دقيق في تأثيرات الجاذبية، إلا أنها لا تزال غير مكتملـة؛ فهي لا توضح أصل الكتلة، ولا كيف تعمـل الكتلة على تحدب (انحناء) الفضاء. ويعمل الفيزيائيون على فهم الجاذبية وأصل الكتلة نفسها بشكل أعمق.

2–1 مراجعة

14. مجالات الجاذبية يبعد القمر مسافة 3.9×10^{5} km عن مركز الأرض، في حين يبعد 1.5×10^{8} km عن مركز الشمس. وكتلتا الأرض والشمس 6.0×10^{24} kg، و 2.0×10^{30} kg على الترتيب.

a. أوجد النسبة بين مجال جاذبية الأرض وبين مجال جاذبية الشمس عند مركز القمر.

b. عندما يكون القمر في طـور ربعه الثالث (ليلة 21 في الشهر)، **الشكل 18–1**، يكون اتجاهه بالنسبة إلى الأرض عموديًّا على اتجاه الأرض بالنسبة إلى الشمس. ما محصلة المجال الجاذبي للأرض والشمس عند مركز القمر؟

الشكل 18–1

15. مجال الجاذبية كتلة القمر 7.3×10^{22} kg ونصف قطره 1785 km، ما شدة مجال الجاذبية على سطحه؟

16. الزمن الدوري والسرعة قمران اصطناعيان في مدارين دائريين حول الأرض؛ يبعد الأول 150 km عن سطح الأرض، والثاني 160 km.

a. أي القمرين له زمن دوري أكبر؟

b. أي القمرين سرعته أكبر؟

17. حالة انعدام الوزن تكون المقاعد داخل محطة الفضاء عديمة الوزن. إذا كنت على متن إحدى هذه المحطات وكنت حافي القدمين فهل تشعر بالألم إذا ركلت كرسيًّا؟ فسر ذلك.

18. التفكير الناقد لماذا يُعد إطلاق قمر اصطناعي من الأرض إلى مدار ليدور في اتجاه الشرق أسهل من إطلاقه ليدور في اتجاه الغرب؟ وضّح.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مختبر الفيزياء

نمذجة مدارات الكواكب والأقمار

ستحلل في هذه التجربة نموذجًا يبين كيف يُطبق القانونان الأول والثاني لكبلر في الحركة على مدارات الأجسام في الفضاء. ينص القانون الأول لكبلر على أن مدارات الكواكب إهليلجية وتقع الشمس في إحدى بؤرتي المدار. أما القانون الثاني لكبلر فينص على أن الخط الوهمي الواصل بين الشمس والكوكب يمسح مساحات متساوية في فترات زمنية متساوية. ويعرف شكل المدار الإهليلجي باللامركزية e، وهي تساوي نسبة البعد بين البؤرتين إلى المحور الرئيس. وعندما يكون الجسم في أبعد مكان له عن الشمس على امتداد المحور الرئيس فإنه يكون في (الأوج). وعندما يكون في أقرب مسافة له من الشمس على امتداد المحور الرئيس فإنه يكون في (الحضيض).

سؤال التجربة

ما شكل مدارات الكواكب والأقمار في النظام الشمسي؟

الأهداف

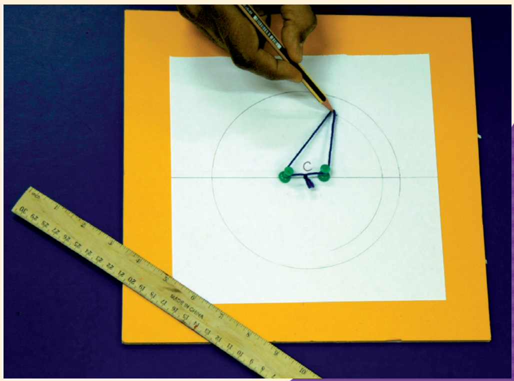
- **تصوغ نماذج** للاستدلال على شكل مدارات الكواكب والأقمار.
- **تجمع وتنظم البيانات** لمسافات الأوج والحضيض للأجسام عندما تدور حول الشمس.
- **تستخلص نتائج** حول القانونين الأول والثاني لكبلر في الحركة.

احتياطات السلامة

- الدبابيس حادة ويمكن أن تخدش الجسم.

المواد والأدوات

قطعة ورق مقوى	مسطرة مترية
طبق ورقي أبيض	قلم رصاص
دبوسان	خيوط (25 cm)



الخطوات

1. ثبت قطعة الورق البيضاء على الورق المقوى.
2. ارسم خطًّا عبر منتصف الورقة في اتجاه طولها؛ ليمثّل المحور الرئيس.
3. عين منتصف الخط وسمّه C.
4. اربط أحد الخيوط لتكون حلقة يكون طولها عند سحبها 10 cm. واحسب المسافة بين البؤرتين (d) لكل جسم في الجدول باستعمال المعادلة:

$$d = \frac{2e\,(10.0\ \text{cm})}{e+1}$$

5. لرسم دائرة، ثبّت دبوسًا عند C، وضع الحلقة فوق الدبوس واسحبها بالقلم. وحرك القلم بصورة دائرية حول المركز على أن يتحكم الخيط في حركة القلم.
6. لرسم مدار الأرض، انزع الدبوس من النقطة C، ثم ثبّته على بُعد $\frac{d}{2}$ cm من C على المحور الرئيس.
7. ثبّت الدبوس الآخر على بعد $\frac{d}{2}$ من الجهة الأخرى بالنسبة إلى C، حيث يمثل الدبوسان البؤرتين.
8. ضع الحلقة فوق الدبوسين واسحبها بقلم الرصاص بحيث يتحكم الخيط في حركته.
9. كرّر الخطوات 8–6 للمذنّب.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

جدول البيانات						
الجسم	اللامركزية (e)	d (cm)	الأوج A	الحضيض P	e التجريبية	الخطأ %
الدائرة	0					
الأرض	0.017					
المذنَّب	0.70					

10. بعد رسم جميع المدارات، علّم كل مدار بوضع اسمه وقيمة (e) اللامركزية له.

التحليل

1. قِس مسافة الأوج A، وهي البعد بين إحدى البؤرتين وأبعد نقطة على المدار على امتداد المحور الرئيس. وسجّل النتيجة في جدول البيانات.

2. قِس مسافة الحضيض P، وهي البعد بين البؤرة السابقة نفسها وأقرب نقطة على المدار على امتداد المحور الرئيس.

3. احسب اللامركزية التجريبية e من المعادلة:

$$e = \frac{A - P}{A + P}$$

4. **حلّل الخطأ** احسب الخطأ النسبي بين القيمة التجريبية والقيمة المحسوبة لـ e.

5. **حلّل** لماذا يكون المدار ذو القيمة $(e = 0)$ دائريًّا؟

6. **قارن** بين مدار الأرض وشكل الدائرة.

7. **لاحظ** أي المدارات يكون إهليلجيًّا في الواقع؟

الاستنتاج والتطبيق

1. هل ينطبق القانون الأول لكبلر على المدار الذي رسمته؟ وضح.

2. درس كبلر بيانات مدار المريخ $(e = 0.093)$ واستنتج أن الكواكب تتحرك حول الشمس في مدارات إهليلجية. ماذا كان يستنتج لو كان على المريخ ودرس حركة الأرض؟

3. أين تكون سرعة الكوكب أكبر: عند الأوج أم الحضيض؟ ولماذا؟

4. يساعد القانون الثاني لكبلر على تحديد نسبة سرعة الأرض في الأوج والحضيض (v_A / v_P). لتحديد هذه النسبة احسب أولاً المساحة التي تمسحها الأرض في مدارها، وهذه المساحة تساوي تقريبًا مساحة مثلث مساحته = ½ البعد عن الشمس × سرعته في تلك الفترة × الزمن. إذا كانت المساحة التي يمسحها الكوكب في فترات زمنية محددة (30 يومًا مثلًا) متساوية عند الأوج والحضيض، فإنه يمكن كتابة هذه العلاقة على النحو الآتي:

$$\frac{1}{2} P v_P t = \frac{1}{2} A v_A t$$

ما النسبة $\frac{v_P}{v_A}$ لكوكب الأرض؟

التوسع في البحث

1. استعملت طريقة تقريبية للنظر إلى القانون الثاني لكبلر. اقترح تجربة للحصول على نتائج أدق لإثبات القانون الثاني.

2. صمّم تجربة لإثبات القانون الثالث لكبلر.

الفيزياء في الحياة

يدور قمر اصطناعي للاتصالات أو الأرصاد الجوية حول الأرض. هل يحقق هذا القمر قوانين كبلر؟ اجمع بيانات لإثبات إجابتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الإثراء العلمي

الثقوب السوداء Black Holes

ماذا يحدث لو كنت تسافر إلى ثقب أسود؟ سوف يتمدد جسمك، ويصبح مفلطحًا ومن ثم يسحب إلى أجزاء ويتمزق. ما الثقب الأسود؟ وماذا تعرف عن الثقوب السوداء؟

الثقب الأسود إحدى المراحل النهائية المحتملة لتطور نجم. فعندما تتوقف تفاعلات الاندماج في قلب نجم كتلته أكبر من كتلة الشمس 20 مرة ينهار قلب النجم إلى الأبد، وتتجمع الكتلة في أصغر حجم. ويسمى هذا الجسم المتناهي الصغر ذو الكثافة المتناهية في الكبر الجسمَ المفردَ (الاستثنائي). وتكون قوة الجاذبية هائلة حول هذا الجسم فلا يفلت منها شيء حتى الضوء، وتُعرف هذه المنطقة بالثقب الأسود.

لا شيء يستطيع الإفلات في عام 1917 م استنتج العالم الألماني شوارتزشيلد –رياضيًّا– إمكانية وجود الثقوب السوداء. وقد استعمل حلاًّ لنظرية أينشتاين في النسبية العامة لوصف خصائص الثقب الأسود، واشتق صيغة لنصف قطر سمِّي نصف قطر شوارتزشيلد، لا يمكن للضوء ولا للمادة الإفلات من قوة الجاذبية خلاله. ويعبَّر عن نصف قطر شوارتزشيلد بالعلاقة:

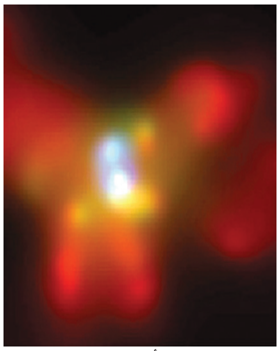
$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

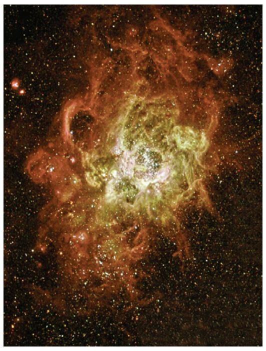
حيث تمثل G ثابت نيوتن في الجذب الكوني، وM كتلة الثقب الأسود، وc سرعة الضوء.

تُعرف حافة الكرة التي نصف قطرها R_s بأفق الحدث. وسرعة الإفلات عند أفق الحدث تساوي سرعة الضوء؛ ولأنه لا يوجد شيء يسير بسرعة أكبر من سرعة الضوء فإن الأجسام التي تقترب من هذه المنطقة لا يمكن أن تنجو أو تفلت.

دلائل مباشرة وغير مباشرة للثقوب السوداء ثلاث خصائص يمكن قياسها نظريًّا، هي: الكتلة، والزخم الزاوي، والشحنة الكهربائية. ويمكن تحديد كتلة الثقب الأسود من خلال المجال الجاذبي الذي يولده. وتحسب الكتلة باستعمال صيغة معدلة للقانون الثالث لكبلر في حركة الكواكب. وقد أثبتت دراسات (ناسا) أن الثقب الأسود يدور حول نفسه مثل النجوم والكواكب. ويدور الثقب الأسود لأنه يحتفظ بالزخم الزاوي للنجم الذي كوَّنه. ويفترض العلماء أن الثقب الأسود يمكن أن يُشْحَن كهربائيًّا عندما يسقط عليه أحد أنواع الشحنة الكهربائية الزائدة، على الرغم من عدم قدرة العلماء على قياس شحنته حتى الآن. كما أمكن الكشف عن الأشعة السينية الناتجة عن الغازات الفائقة الحرارة.

على الرغم من أننا لا نعرف كل شيء عن الثقوب السوداء إلا أن هناك دلائل مباشرة وغير مباشرة على وجودها. وسوف تؤدي الأبحاث المتواصلة والبعثات الخاصة إلى فهم أكبر لحقيقة الثقوب السوداء.


صورة شاندرا بالأشعة السينية لثقبين أسودين في NGC 6240.


صورة هابل للمجرة NGC 6240

التوسع

حل يمكن تحديد سرعة الإفلات لجسم لدى مغادرته لجرم فضائي وفقًا للمعادلة:

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R_s}}$$

حيث: G ثابت نيوتن في الجذب الكوني، وM كتلة الثقب الأسود، وR_s نصف قطر الثقب الأسود. بيّن أن هذه السرعة تساوي سرعة الضوء c.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 1

دليل مراجعة الفصل

1-1 حركة الكواكب والجاذبية Planetary Motion and Gravitation

المفردات

- القانون الأول لكبلر
- القانون الثاني لكبلر
- القانون الثالث لكبلر
- قوة الجاذبية
- قانون الجذب الكوني (العام)

المفاهيم الرئيسة

- ينص القانون الأول لكبلر على أن الكواكب تتحرك في مدارات إهليلجية، وتكون الشمس في إحدى البؤرتين.
- ينص القانون الثاني لكبلر على أن الخط الوهمي من الشمس إلى الكوكب يمسح مساحات متساوية في أزمان متساوية.
- ينص القانون الثالث لكبلر على أن مربع النسبة بين الزمنين الدوريين لأي كوكبين يساوي مكعب النسبة بين بعديهما عن الشمس.

$$\left(\frac{T_A}{T_B}\right)^2 = \left(\frac{r_A}{r_B}\right)^3$$

- ينص قانون نيوتن في الجذب الكوني على أن قوة الجاذبية بين أي جسمين تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسيًّا مع مربع المسافة بين مركزيهما، ويعبر عن قوة الجذب بالعلاقة:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

- يمكن استعمال قانون نيوتن في الجذب الكوني لإعادة كتابة القانون الثالث لكبلر على الصورة الآتية:

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{Gm_s}\right) r^3$$

حيث m_s كتلة الشمس.

1-2 استخدام قانون الجذب الكوني Using the Law of Universal Gravitation

المفردات

- مجال الجاذبية
- كتلة القصور
- كتلة الجاذبية
- مبدأ التكافؤ

المفاهيم الرئيسة

- يُعبر عن سرعة جسم يتحرك في مدار دائري بالقانون:

$$v = \sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

- يُعبر عن الزمن الدوري لقمر اصطناعي يتحرك في مدار دائري بالعلاقة:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_E}}$$

- كل الأجسام لها مجالات جاذبية تحيط بها.

$$g = \frac{Gm}{r^2}$$

- كتلتا القصور والجاذبية مفهومان مختلفان، إلا أنهما متساويان في مقدار الكتلتين.

$$m_{\text{الجاذبية}} = \frac{r^2 F_{\text{الجاذبية}}}{Gm} \qquad m_{\text{القصور}} = \frac{F_{\text{محصلة}}}{a}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 1

التقويم

خريطة المفاهيم

19. كوّن خريطة مفاهيمية مستعملاً هذه المصطلحات: كواكب، نجوم، قانون نيوتن للجذب الكوني، القانون الأول لكبلر، القانون الثاني لكبلر، القانون الثالث لكبلر.

إتقان المفاهيم

20. تتحرك الأرض في مدارها خلال الصيف ببطء في نصفها الشمالي أكبر ممّا هي عليه في الشتاء، فهل هي أقرب إلى الشمس في الصيف أم في الشتاء؟ (1-1)

21. هل المساحة التي تمسحها الأرض في وحدة الزمن (m^2/s) عند دورانها حول الشمس تساوي المساحة التي يمسحها المريخ في وحدة الزمن (m^2/s) عند دورانه حول الشمس؟ (1-1)

22. لماذا اعتقد نيوتن أن هناك قوة تؤثر في القمر؟ (1-1)

23. كيف أثبت كافندش وجود قوة جاذبية بين جسمين صغيرين؟ (1-1)

24. ماذا يحدث لقوة الجذب بين كتلتين عند مضاعفة المسافة بينهما؟ (1-1)

25. ما الذي يحافظ على القمر الاصطناعي فوقنا؟ وضح ذلك. (1-2)

26. يدور قمر اصطناعي حول الأرض. أي العوامل الآتية تعتمد عليها سرعته؟ (1-2)

a. كتلة القمر.

b. البعد عن الأرض.

c. كتلة الأرض.

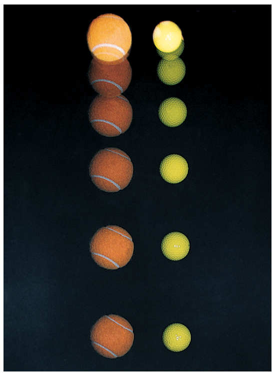
27. ما مصدر القوة التي تسبب التسارع المركزي لقمر اصطناعي في مداره؟ (1-2)

28. بيّن أن وحدات g في المعادلة $g = F/m$ هي m/s^2. (1-2)

29. لو كانت كتلة الأرض ضعف ما هي عليه مع بقاء حجمها ثابتًا، فماذا يحدث لقيمة g؟ (1 - 2)

تطبيق المفاهيم

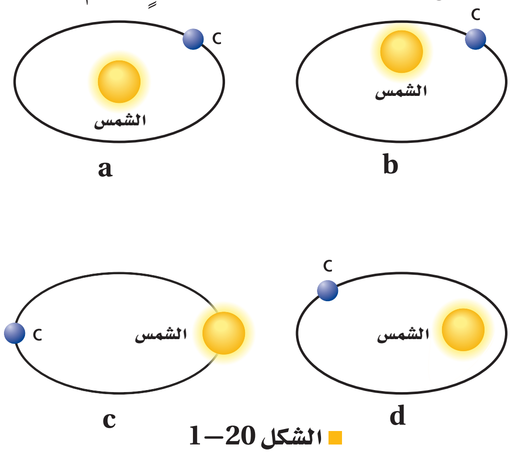
30. **كرة التنس** قوة الجاذبية التي تؤثر في جسم ما قرب سطح الأرض تتناسب مع كتلة الجسم. يبين **الشكل 19–1** كرة تنس وكرة تنس طاولة في حالة سقوط حر. لماذا لا تسقط كرة التنس بسرعة أكبر من كرة تنس الطاولة؟



■ **الشكل 19–1**

31. ما المعلومات التي تحتاج إليها لإيجاد كتلة المشتري باستعمال صيغة نيوتن للقانون الثالث لكبلر؟

32. قرّر إذا كان كل مدار من المدارات الموضحة في **الشكل 20–1** مدارًا ممكنًا لكوكبٍ ما أم لا.



■ **الشكل 20–1**

33. يجذب القمر والأرض كل منهما الآخر، فهل تجذب الأرض ذات الكتلة الأكبر القمر بقوة أكبر من قوة جذب القمر لها؟ فسّر ذلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 1

34. ماذا يحدث للثابت G إذا كانت كتلة الأرض ضعف قيمتها، وبقي حجمها ثابتًا؟

35. إذا ارتفع مكوك فضاء إلى مدار أبعد من مداره، فماذا يحدث لزمنه الدوري؟

36. كتلة المشتري أكبر 300 مرة من كتلة الأرض، ونصف قطره أكبر عشر مرات من نصف قطر الأرض. احسب بالتقريب قيمة g على سطح المشتري.

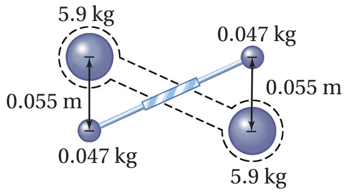
37. إذا ضاعفنا كتلة تخضع لمجال الأرض الجاذبي، فماذا يحدث للقوة التي يولدها هذا المجال على هذه الكتلة؟

إتقان حل المسائل

1–1 حركة الكواكب والجاذبية

38. المشتري أبعد من الأرض عن الشمس 5.2 مرة. احسب الزمن الدوري له بالسنوات الأرضية.

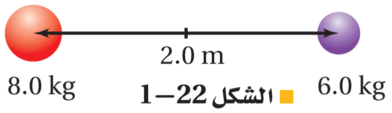
39. يبين **الشكل 1–21** جهاز كافندش المستعمل في حساب G. وهناك كتلة رصاص كبيرة 5.9 kg وكتلة صغيرة 0.047 kg، المسافة بين مركزيهما 0.055 m، احسب قوة التجاذب بينهما.



■ **الشكل 1–21**

40. باستعمال **الجدول 1–1**، احسب القوة التي تؤثر بها الشمس في المشتري.

41. إذا كان البعد بين مركزي كرتين 2.0 m، كما في **الشكل 1–22**. وكانت كتلة إحداهما 8.0 kg وكتلة الأخرى 6.0 kg، فما قوة الجاذبية بينهما؟



■ **الشكل 1–22**

42. كرتان متماثلتان، كتلة كل منهما 6.8 kg، والبعد بين مركزيهما 21.8 cm. ما قوة الجاذبية التي تؤثر بها كل منهما في الأخرى؟ (1–2)

43. إذا كانت قوة الجاذبية بين إلكترونين البعد بينهما 1.00 m تساوي 5.54×10^{-71} N ، فاحسب كتلة الإلكترون.

44. **أورانوس** يحتاج أورانوس إلى 84 سنة ليدور حول الشمس. احسب نصف قطر مدار أورانوس بدلالة نصف قطر مدار الأرض.

45. كرتان المسافة بين مركزيهما 2.6 m، وقوة الجاذبية بينهما 2.75×10^{-12} N. ما كتلة كل منهما إذا كانت كتلة إحداهما ضعف كتلة الأخرى؟

46. تُقاس المساحة بوحدة m^2، لذا فإن المعدل الزمني للمساحة التي يمسحها كوكب أو قمر هي m^2/s.

a. ما معدل المساحة (m^2/s) التي تمسحها الأرض في مدارها حول الشمس؟

b. ما معدل المساحة (m^2/s) التي يمسحها القمر في مداره حول الأرض؟ افترض أن متوسط المسافة بين الأرض والقمر 3.9×10^{8} m، والزمن الدوري للقمر حول الأرض 27.33 يومًا.

1–2 استخدام قانون الجذب الكوني

47. كتاب كتلته 1.25 kg ووزنه في الفضاء 8.35 N، ما قيمة المجال الجاذبي في ذلك المكان؟

48. إذا كانت كتلة القمر 7.34×10^{22} kg وبُعد مركزه عن مركز الأرض 3.8×10^{8} m، وكتلة الأرض 5.97×10^{24} kg، فاحسب:

a. مقدار قوة الجذب الكتلي بينهما.

b. مقدار مجال الجاذبية للأرض على القمر.

49. إذا كان وزن أخيك الذي كتلته 91 kg على سطح القمر هو 145.6 N، فما قيمة مجال الجاذبية للقمر على سطحه؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

50. **رائد فضاء** إذا كانت كتلة رائد فضاء 80 kg، وقد فقد 25% من وزنه عند نقطة في الفضاء، فما شدة مجال جاذبية الأرض عند هذه النقطة؟

مراجعة عامة

51. استعمل البيانات الخاصة بالأرض في **الجدول 1–1** لحساب كتلة الشمس باستخدام صيغة نيوتن للقانون الثالث لكبلر.

52. استعمل البيانات في **الجدول 1–1** لحساب مقدار السرعة والزمن الدوري لقمر اصطناعي يدور حول المريخ على ارتفاع 175 km من سطحه.

53. ما سرعة دوران كوكب بحجم الأرض وكتلتها، بحيث يبدو الجسم الموضوع على خط الاستواء عديم الوزن؟ أوجد الزمن الدوري للكوكب بالدقائق.

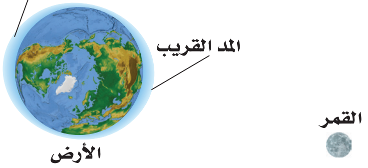
التفكير الناقد

54. **حلل واستنتج** يقول بعض الناس إن المد الذي يحدث للماء على سطح الأرض تسببه قوة سحب من القمر. هل هذه العبارة صحيحة؟

a. أوجد القوى التي تؤثر بها الشمس والقمر في كتلة m من الماء على سطح الأرض. اجعل إجابتك بدلالة m.

b. أي الجسمين يجذب الماء الموجود على سطح الأرض بقوة أكبر: الشمس أم القمر؟

c. أوجد الفرق بين القوتين اللتين يؤثر بهما القمر في الماء الموجود على سطح الأرض القريب منه، والبعيد عنه، كما يبين **الشكل 23–1**، وذلك بدلالة الكتلة m.



■ **الشكل 23–1**

d. أوجد الفرق بين القوتين اللتين تؤثر بهما الشمس في الماء الموجود على سطح الأرض، القريب منها، والبعيد عنها.

e. أيّ الجسمين – الشمس أم القمر – له فرق كبير بين القوتين اللتين يسببهما على الماء الموجود على سطح الأرض، القريب منه والسطح البعيد عنه؟

f. لماذا تُعد العبارة الآتية مضلّلة: "ينتج المد عن قوة جذب من القمر" ؟ استبدل بها عبارة صحيحة توضح كيف يسبب القمر ظاهرة المدّ على الأرض.

الكتابة في الفيزياء

55. اكتب نبذة عن التطور التاريخي لقياس البعد بين الشمس والأرض.

56. استكشف جهود الفلكيين في اكتشاف كواكب حول نجوم أخرى غير الشمس، وما الطرائق التي استعملها الفلكيون؟ وما القياسات التي أجروها وحصلوا عليها؟ وكيف استعملوا القانون الثالث لكبلر؟

مراجعة تراكمية

57. **الطائرات** أقلعت طائرة من مدينة الدمام عند الساعة 2:20 بعد الظهر، وحطت في مطار الرياض عند الساعة 3:15 بعد الظهر من اليوم نفسه. فإذا كان متوسط سرعة الطائرة في الهواء 441.0 km/h، فما مقدار المسافة بين المدينتين؟

58. **حشرة البطاطس** تدور حشرة كتلتها 1.0 g حول الحافة الخارجية لقرص قطره 17.2 cm بسرعة 0.63 cm/s. ما مقدار القوة المركزية المؤثرة في الحشرة؟ وما المصدر الذي يسبب هذه القوة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبــار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. قمران في مداريهما حول كوكب؛ نصف قطر مدار أحدهما 8.0×10^6 m وزمنه الدوري 1.0×10^6 s، ونصف قطر مدار القمر الثاني 2.0×10^7 m. ما الزمن الدوري للقمر الثاني؟

Ⓐ 5.0×10^5 s Ⓒ 4.0×10^6 s

Ⓑ 2.5×10^6 s Ⓓ 1.3×10^7 s

2. يبين الرسم الآتي قمرًا نصف قطر مداره 6.7×10^4 km ومقدار سرعته 2.0×10^5 m/s، يدور حول كوكب صغير. ما كتلة الكوكب الذي يدور حوله القمر؟

Ⓐ 2.5×10^{18} kg Ⓒ 2.5×10^{23} kg

Ⓑ 4.0×10^{20} kg Ⓓ 4.0×10^{28} kg

3. قمران في مداريهما حول كوكب ما. فإذا كانت كتلة القمر A تساوي 1.5×10^2 kg، وكتلة القمر B تساوي 4.5×10^3 kg، وكتلة الكوكب 6.6×10^{24} kg، وكان لمداريهما نصف القطر نفسه وهو 6.8×10^6 m، فما الفرق بين الزمنين الدوريين للقمرين؟

Ⓐ لا يوجد فرق Ⓒ 2.2×10^2 s

Ⓑ 1.5×10^2 s Ⓓ 3.0×10^2 s

4. يدور قمر حول كوكب بسرعة مقدارها 9.0×10^3 m/s، فإذا كانت المسافة بين مركزي القمر والكوكب 5.4×10^6m، فما الزمن الدوري للقمر؟

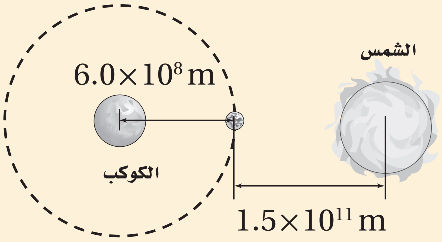
Ⓐ $1.2\pi\times10^2$ s Ⓒ $1.2\pi\times10^3$ s

Ⓑ $6.0\pi\times10^2$ s Ⓓ $1.2\pi\times10^9$ s

5. يدور قمر حول كوكب، ويخضع في أثناء ذلك لقوة جذب من الكوكب وقوة جذب من الشمس أيضًا. يبين الرسم أدناه القمر في حالة كسوف الشمس عندما يكون الكوكب والقمر والشمس على خط واحد. فإذا كانت كتلة القمر 3.9×10^{21} kg، وكتلة الكوكب 2.4×10^{26} kg، وكتلة الشمس 2.0×10^{30} kg، وبُعد القمر عن مركز الكوكب 6.0×10^8 m، وبُعد القمر عن مركز الشمس 1.5×10^{11} m، فما النسبة بين قوة الجاذبية التي يؤثر بها الكوكب في القمر وقوة الجاذبية التي تؤثر بها الشمس في القمر خلال كسوف الشمس؟

Ⓐ 0.5 Ⓒ 5.0

Ⓑ 2.5 Ⓓ 7.5



الأسئلة الممتدة

6. قمران في مداريهما حول كوكب، فإذا كان القمر S_1 يستغرق 20 يومًا ليدور حول الكوكب ويبعد عن مركزه 2×10^5 km، في حين أن القمر S_2 يستغرق 160 يومًا، فما بُعد القمر S_2 عن مركز الكوكب؟

✓ إرشاد

خطّط لعملك ونفّذ خطتك

خطِّط لعملك بحيث تعمل قليلاً ولكن بشكل يومي منتظم، بدلاً من عمل الكثير في وقت واحد؛ فمفتاح فهم وحفظ المعلومات يكون بتكرار المراجعة والممارسة. فإذا درست ساعة واحدة في الليلة خمسة أيام متتالية سيكون فهم المعلومات وحفظها أفضل من الاعتكاف على الدراسة طوال الليل قبل الاختبار.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل
2

الحركة الدورانية
Rotational Motion

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف الحركة الدورانية وقياسها.
- تَعـرُّف كيفية تغيير العـزم للسرعة المتجهة الدورانية.
- استكشـاف العوامل التـي تؤثر في استقرار جسم ما.
- توضيح أن القوة الطاردة المركزية قوة وهمية.

الأهمية

تشاهد الكثير من الأجسام التي تتحرك حركة دورانية في حياتك اليومية ، ومنها قرص الحاسوب المدمج CD ، والإطارات، وبعض الألعاب في مدينة الألعاب.

العربة الدوّارة تُصمَّم العربات الدوارة في مدن الألعاب، بحيث تحقق للراكب الإثارة؛ فهي تشعر الراكب بالابتهاج في أثناء دوران العربات. وتخضع حركة هذه العربات لقوانين فيزياء الحركة الدورانية ومبادئها.

فكِّر ◄

لماذا يتعـرض الراكب في العربة الدوارة لردود فعل بدنية قوية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تجربة استهلالية

كيف يتزن الجسم دورانيًّا؟

سؤال التجربة هل يمكن جعل مسطرة معلّقة من منتصفها في حالة اتزان دوراني عند تعليق أثقال مختلفة على جانبيها؟

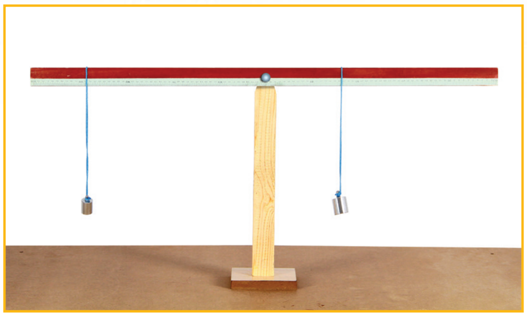
الخطوات

1. ستحتاج في هذه التجربة إلى: مسطرة مترية خشبية، وشريط قياس متري، وأثقال مختلفة، وخيوط، ومقص.
2. علّق المسطرة من منتصفها على حامل رأسي، بحيث يمكن تدويرها حول نقطة التعليق. واربط كل ثقل من الأثقال بخيط.
3. علّق ثقلًا على أحد جانبي المسطرة، وقس بعده عن نقطة التعليق وسجله.
4. علّق ثقلًا آخر مختلفًا على الجانب الآخر للمسطرة، بحيث تجعلها تتزن أفقيًّا ولا تدور، وقس بُعده عن نقطة التثبيت، وسجله.
5. كرّر الخطوتين 3 و4 بتعليق أثقال مختلفة.

التحليل

أوجد حاصل ضرب كل قوة (وزن الثقل) في بُعدها عن نقطة التعليق (محور الدوران). قارن بين بيانات كل محاولة، هل تأخذ هذه البيانات نمطًا محددًا؟ وضح ذلك

التفكير الناقد ما شرط اتزان جسم دورانيًّا؟



1–2 وصف الحركة الدورانية Describing Rotational Motion

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

لا بدَّ أنك لاحظت كثيرًا من الأجسام التي تتحرك حركة دورانية. فكيف تقيس الحركة الدورانية لهذه الأجسام؟ خذ جسمًا دائريًّا كقرص CD مثلًا، وضع إشارتين: إحداهما على القرص، والأخرى في المكان الذي تحدِّدُ فيه نقطة البداية. ثم دوّر القرص إلى اليسار (في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة)، وراقب موضع العلامة. وعندما تعود الإشارة إلى نقطة البداية يكون القرص قد أكمل دورة كاملة واحدة. ولكن كيف تقيس جزءًا من الدورة؟ هناك وحدات مختلفة لقياس زوايا الدوران، منها وحدة الدرجة التي تعادل $\frac{1}{360}$ من الدورة الكاملة. وهناك وحدة أخرى تُستعمل كثيرًا في الرياضيات والفيزياء لقياس زوايا الدوران، وهي وحدة **الراديان**؛ فعندما يُتم قرصٌ دورةً كاملة فإن أي نقطة واقعة على حافته تقطع مسافة تساوي 2π مضروبة في نصف قطر القرص. لذا يُعرّف الراديان (radian) بأنه $\frac{1}{2\pi}$ من الدورة الكاملة (Revolution)، أيْ أن الدورة الكاملة تساوي 2π radians. ويرمز إلى الراديان بالرمز rad .

الأهداف

- **تصف** الإزاحة الزاويّة.
- **تحسب** السرعة الزاويّة المتجهة.
- **تحسب** التسارع الزاويّ.
- **تحل** مسائل تتعلق بالحركة الدورانية.

المفردات

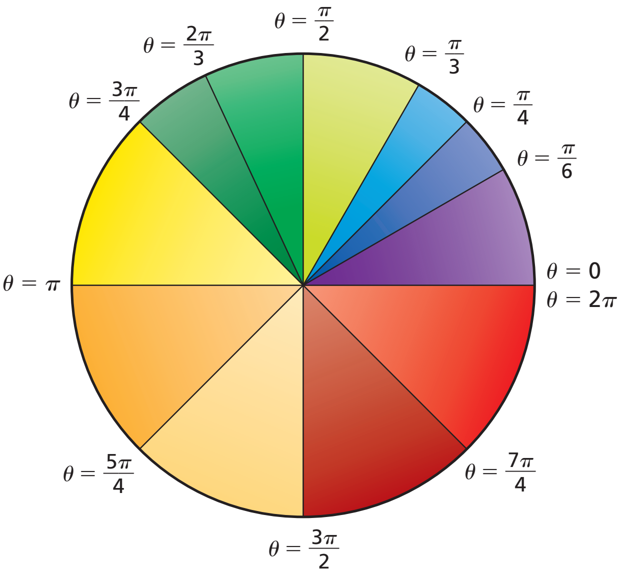
الراديان

الإزاحة الزاويّة

السرعة الزاويّة المتجهة

التسارع الزاويّ

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



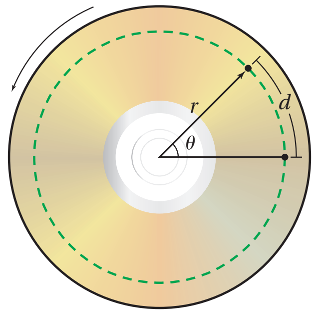
الشكل 2–1 يبين الرسم تمثيل بياني بالقطاع الدائري قياس الراديان لمعظم الزوايا الشهيرة مقيسة في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة، وكل زاوية مقيسة من الزاوية $\theta = 0$.

الإزاحة الزاويّة Angular Displacement

يبين **الشكل 1 – 2** القياس بالراديان لمعظم الزوايا الشهيرة، والتي تمثل أجزاء من الدورة الكاملة، ويرمز لزاوية الدوران بالرمز θ (ثيتا). وقد اعتُبِرَ أن اتجاه الدوران في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة يُعدّ موجبًا، ويعد سالبًا إذا كان في اتجاه حركة عقارب الساعة. أما التغير في الزاوية في أثناء دوران الجسم فيسمى **الإزاحة الزاويّة**.

تدور الأرض حول محورها دورة واحدة كل يوم، أي 2 π rad في 24 h، وتدور π rad في 12 h. فما زاوية دوران الأرض خلال 6 h؟ بما أن 6 h تمثل ربع اليوم، فإن الأرض تدور بزاوية ($\frac{\pi}{2}$ rad) خلال هذه الفترة. ويُعد دوران الأرض كما يُرى من القطب الشمالي موجبًا، فهل يكون دوران الأرض موجبًا أم سالبًا أيضًا عندما تُشاهده من القطب الجنوبي؟

ما المسافة التي تتحركها نقطة واقعة على جسم يدور؟ عندما يُتم الجسم الدوار دورة كاملة فإن النقطة الواقعة على حافته تتحرك مسافة تساوي 2 π مضروبة في نصف قطر الجسم. فإذا دارت نقطة على بعد r من المركز بزاوية θ، كما في الشكل **2 – 2**، فإن المسافة التي تتحركها النقطة يُعبّر عنها بالعلاقة $d = r\,\theta$. والبعض يظن أنه إذا قيست r بالمتر فإن ذلك يجعل d مقيسة بوحدة m.rad، وهذا ليس صحيحًا؛ فالراديان يمثل النسبة بين d و r، لذا تقاس d بوحدة m.



الشكل 2–2 يمثل الخط المنقط المسار الذي تسلكه نقطة على CD عندما يدور الـ CD في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة حول مركزه.

السرعة الزاويّة المتجهة Angular Velocity

ما سرعة دوران قرص الـ CD؟ وكيف تُحدّد مقدار سرعته الدورانية؟ تعرف أن السرعة هي ناتج قسمة الإزاحة على الزمن الذي يتطلبه حدوث الإزاحة. وبالمثل، فإن **السرعة الزاويّة المتجهة** لجسم هي ناتج قسمة الإزاحة الزاويّة على الزمن الذي يتطلبه حدوث

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

هذه الإزاحة. لذا يُعبر عن السرعة الزاويّة المتجهة ω بالمعادلة الآتية:

السرعة الزاويّة المتجهة $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$

"السرعة الزاويّة المتجهة تساوي الإزاحة الزاوية مقسومة على الزمن الذي يتطلبه حدوث الدوران".

عندما تتغير السرعة المتجهة خلال فترة زمنية معينة فإن السرعة المتجهة المتوسطة لا تساوي السرعة المتجهة اللحظية عند كل لحظة خلال تلك الفترة. وينطبق الأمر نفسه على حساب السرعة الزاويه المتجهة؛ فعند حساب السرعة الزاويه المتجهة المتوسطة خلال فترة زمنية Δt فإننا نكون قد حسبنا السرعة الزاوية المتجهة المتوسطة خلال تلك الفترة. أما السرعة الزاوية المتجهة اللحظية فتساوي ميل المنحنى للعلاقة بين الموقع الزاوي والزمن.

تقاس السرعة الزاوية المتجهة بوحدة rad /s . تكون السرعة الزاوية للأرض مثلاً

$$\omega_E = (2\,\pi\ \text{rad})\ /\ (24.0\ \text{h})\ (3600\ \text{s}/\text{h}) = 7.27\times10^{-5}\ \text{rad}/\text{s}$$

إن الدوران في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة يجعل الإزاحة الزاوية موجبة، ويجعل السرعة الزاوية المتجهة موجبة أيضًا. فإذا كانت السرعة الزاوية المتجهة لجسم ما ω فإن السرعة الخطية المتجهة v لنقطة على بعد r من محور الدوران تساوي $v = r\,\omega$، ويعبر عن مقدار سرعة جسم على خط الاستواء يتحرك نتيجة دوران الأرض بالعلاقة: $v = r\omega = (6.38\times10^{6}\ \text{m})\ (7.27\times10^{-5}\ \text{rad}/\text{s}) = 464\ \text{m}/\text{s}$

وتُعد الأرض مثالاً على حركة جسم صلب حركة دورانية. وعلى الرغم من أن النقاط المختلفة على الأرض تقطع مسافات مختلفة في كل دورة، إلا أن هذه النقاط جميعها تدور خلال الزاوية نفسها، وكل أجزاء الجسم الصلب تدور بالمعدل نفسه. أما الشمس فليست جسمًا صلبًا، لذا تدور الأجزاء المختلفة منها بمعدلات مختلفة. وستدرس في هذا الفصل دوران الأجسام الصلبة.

الربط مع الفلك

التسارع الزاويّ Angular Acceleration

ماذا لو تغيرت السرعة الزاويّة المتجهة؟ إذا تسارعت سيارة مثلاً من 0.0 m /s إلى 25 m /s خلال 15.0 s، وكان نصف قطر إطاراتها 32 cm فإن السرعة الزاوية المتجهة لإطارات السيارة تتغير أيضًا من 0.0 rad /s إلى 78 rad /s خلال الفترة الزمنية نفسها. أيْ يكون لإطارات السيارة **تسارع زاويّ** يُعرّف بأنه التغير في السرعة الزاويّة المتجهة مقسومًا على الزمن الضروري لحدوث هذا التغير، وعمومًا يعبَّر عن التسارع الزاوي α بالعلاقة:

التسارع الزاوي $\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$

التسارع الزاوي يساوي التغير في السرعة الزاوية المتجهة مقسومًا على الفترة الزمنية التي حدث خلالها هذا التغير.

ويقاس التسارع الزاوي بوحدة rad/s^2 ، فإذا كان التغير في السرعة الزاوية المتجهة موجبًا كان التسارع الزاوي موجبًا أيضًا. إن التسارع الزاوي المعبر عنه بهذه العلاقة هو نفسه التسارع الزاوي المتوسط خلال الفترة الزمنية Δt. ومن طرائق حساب التسارع الزاوي اللحظي إيجاد ميل العلاقة البيانية بين السرعة الزاوية المتجهة والزمن. ويمكن حساب التسارع الخطي لنقطة على بعد r من محور جسم إذا علم تسارعه الزاوي α، وفقًا للعلاقة $a = r\alpha$. والجدول **1–2** يبين ملخص العلاقات بين الكميّات الخطية والزاوية.

الجدول 1–2			
قياسات خطية وزاويّة			
الكمية	**الخطّية**	**الزاويّة**	**العلاقة**
الإزاحة	d (m)	θ (rad)	$d = r\theta$
السرعة المتجهة	v (m/s)	ω (rad/s)	$v = r\omega$
التسارع	a (m/s^2)	α (rad/s^2)	$a = r\alpha$

مسائل تدريبية

1. ما الإزاحة الزاويّة لعقارب ساعة يد خلال 1 h؟ اكتب إجابتك بثلاثة أرقام معنوية، وذلك لـ:

a. عقرب الثواني

b. عقرب الدقائق

c. عقرب الساعات.

2. إذا كان التسارع الخطي لعربة نقل $1.85\ m/s^2$، والتسارع الزاوي لإطاراتها $5.23\ rad/s^2$ فما قطر الإطار الواحد للعربة؟

3. إذا كانت العربة التي في السؤال السابق تسحب قاطرة قطر كل من إطاراتها 48 cm، قارن بين:

a. التسارع الخطي للقاطرة والتسارع الخطي للعربة.

b. التسارع الزاوي للقاطرة والتسارع الزاوي للعربة.

4. إذا استبدلت بإطارات سيارتك إطارات أخرى قطرها أكبر فكيف تتغير السرعة الزاوية المتجهة وعدد الدورات إذا قمت بالرحلة نفسها، وقطعت المسافة نفسها ملتزمًا بالسرعة الخطية نفسها؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

التردد الزاوي يُكمل الجسم المتحرك حركة دورانية عدة دورات خلال فترة زمنية محددة. يدور دولاب الغزل مثلاً عدة دورات في الدقيقة الواحدة، ويسمّي عدد الدورات الكاملة التي يدورها الجسم في الثانية الواحدة التردد الزاوي ω؛ حيث $f = \frac{\omega}{2\pi}$.

رموز الكتب

يرمز لكمية التردد Frequency في كتاب الكيمياء بالرمز (نيو) ν، وبالرمز f في كتاب الفيزياء؛ وكلاهما صحيحان ويعبران عن نفس الكمية.

1–2 مراجعة

5. السرعة الزاوية المتجهة يدور القمر حول محوره دورة كاملة خلال 27.3 يومًا، فإذا كان نصف قطر القمر 1.74×10^6 m، فاحسب:

a. زمن دوران القمر بوحدة الثانية.

b. السرعة الزاوية لدوران القمر بوحدة rad /s.

c. مقدار السرعة الخطية لصخرة على خط الاستواء للقمر (الناتجة فقط عن دوران القمر)؟

d. النسبة بين مقدار السرعة الخطية في الفقرة السابقة والسرعة الخطية الناتجة عن دوران الأرض لشخص يقف على خط الاستواء.علمًا بأن سرعة الأرض عند خط الاستواء 464 m /s.

6. الإزاحة الزاوية إذا كان قطر الكرة المستخدمة في فأرة الحاسوب 2.0 cm، وحَرّكت الفأرة 12 cm، فما الإزاحة الزاوية للكرة؟

7. الإزاحة الزاوية هل لكل أجزاء عقرب الدقائق الإزاحة الزاوية نفسها؟ وهل لها إزاحة خطية متماثلة؟

8. التسارع الزاوي يدور الملف الأسطواني في محرك غسالة الملابس 635 rev /min (أي 635 دورة في الدقيقة)، وعند فتح غطاء الغسالة يتوقف المحرك عن الدوران. فإذا احتاج الملف 8.0 s حتى يتوقف بعد فتح الغطاء فما التسارع الزاوي للملف الأسطواني؟

9. التفكير الناقد يبدأ مسار لولبي على قرص مضغوط CD على بُعد 2.7 cm من المركز، وينتهي على بُعد 5.5 cm. ويدور القرص المضغوط بحيث تتغير السرعة الزاوية كلما ازداد نصف قطر المسار، ويبقى مقدار السرعة الخطية المتجهة للمسار اللولبي ثابتًا ويساوي 1.4 m /s. احسب ما يأتي:

a. السرعة الزاوية المتجهة للقرص (بوحدة rad /s و rev /min) عند بداية المسار.

b. السرعة الزاوية المتجهة للقرص عند نهاية المسار.

c. التسارع الزاوي للقرص إذا كان زمن قراءته كاملًا 76 min.

المسار اللولبي على قرص (CD)

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

2–2 ديناميكا الحركة الدورانية Rotational Dynamics

◄ الأهداف

- **تصف** العزم.
- **تحدّد** العوامل التي يعتمد عليها العزم.
- **تحسب** محصلة العزم.

◄ المفردات

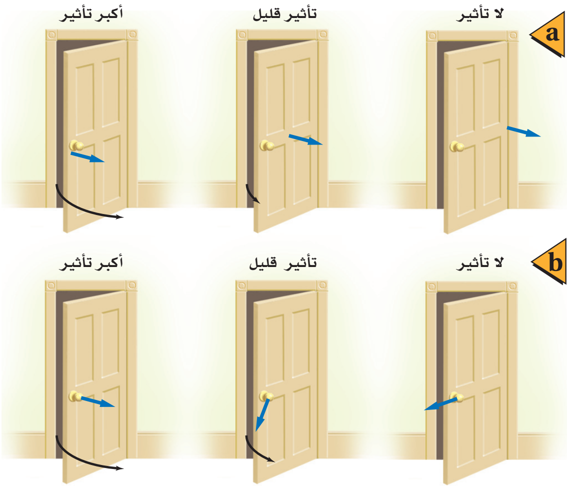
ذراع القوة
العزم

كيف تبدأ الحركة الدورانية لجسم ما؟ كيف تتغير سرعته الزاوية المتجهة؟ إذا كان لديك علبة أسطوانية، وأردت أن تديرها حول نفسها فما عليك إلا أن تلف خيطًا حولها ثم تسحبه بقوة فتدور، وكلما سحبت الخيط بقوة أكبر زادت سرعة دورانها. تؤثر في العلبة – في هذه الحالة – قوتان، هما قوة الجاذبية الأرضية، وقوة الشد في الخيط. أما قوة الجاذبية الأرضية فتؤثر في مركز العلبة، ولذلك لا تؤدي إلى تدوير العلبة (ستعرف السبب لاحقًا). وأما قوة الشد في الخيط فتؤثر في الحافة الخارجية للعلبة، ويكون اتجاه قوة الشد متعامدًا مع اتجاه الخط الواصل بين مركز العلبة والنقطة التي يلامس عندها الخيط سطح العلبة مبتعدًا عنها.

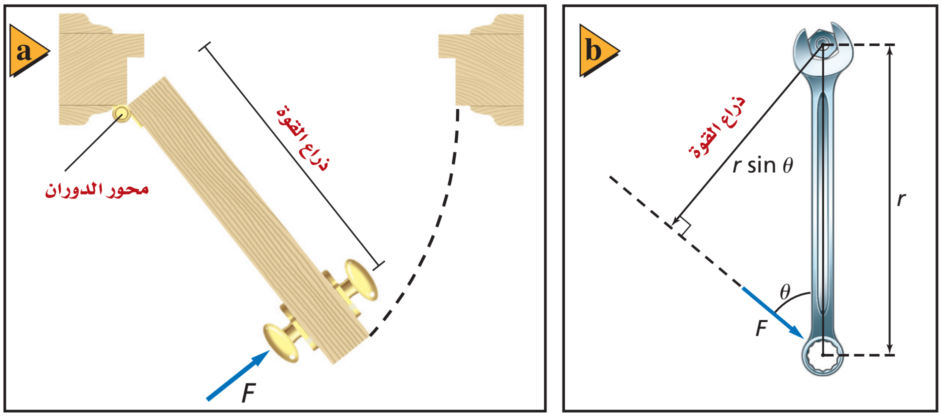
وكما تعلمت، فإن القوة المؤثرة في جسم نقطي تغير من سرعته الخطية المتجهة، أما الجسم غير النقطي والذي يكون ثابتًا في الشكل والحجم– كما في حالة العلبة الأسطوانية– فإن تأثير القوة فيه بطريقة معينة يغير سرعته الزاوية المتجهة. تأمل حالة فتح باب مغلق؛ إنك تؤثر في الباب بقوة لكي تفتحه، ولكن ما أسهل طريقة لفتح الباب؟ إن ما يعنينا هو الحصول على أكبر أثر عند التأثير بأقل قوة ممكنة. ولتحقيق هذا نجعل نقطة تأثير القوة أبعد ما يمكن عن محور الدوران، انظر **الشكل 3–2**. إن محور الدوران في حالة الباب هو خطٌّ وهميٌّ رأسيٌّ يمرّ من خلال مُفصِّلات الباب. أما نقطة تأثير القوة فهي مقبض الباب الذي يكون بجانب الطرف الخارجي للباب. ولضمان أثر فعال للقوة فإننا نؤثر بها في مقبض الباب (بعيدًا عن المُفصِّلات) وبزاوية قائمة بالنسبة للباب ، حيث يحدّد كل من مقدار القوة واتجاهها، والمسافة بين المحور ونقطة تأثير القوةِ، التغيرَ في السرعة الزاوية المتجهة.

ذراع القوة عند التأثير بقوة معينة، فإن التغير في السرعة الزاوية المتجهة يعتمد على **ذراع القوة**، وهي المسافة العمودية من محور الدوران حتى نقطة تأثير القوة. فإذا كانت القوة متعامدة مع نصف قطر الدوران –كما هو الحال في العلبة الأسطوانية– فإن ذراع القوة تساوي البعد عن المحور، وتساوي r. أما بالنسبة للباب فإن ذراع القوة تساوي البعد بين المفصّلات ونقطة تأثير القوة، انظر **الشكل 4a – 2**. وإذا لم تكن القوة متعامدة مع محور الدوران نأخذ المركبة العمودية للقوة. فالقوة التي يؤثر بها الخيط حول العلبة متعامدة مع نصف قطر العلبة، وإذا كانت القوة المؤثرة غير متعامدة مع نصف القطر فإن مقدار ذراع القوة يقل. ولإيجاد ذراع القوة نمدّ خط متّجه القوة حتى يشكّل زاوية قائمة مع الخط الممتد من مركز الدوران، فتكون المسافة بين نقطة التقاطع والمحور هي ذراع القوة. وباستخدام حساب المثلثات يمكن إيجاد طول ذراع القوة L بالمعادلة $L = r\sin\theta$، انظر **الشكل 4b – 2**. وتمثل r المسافة بين محور الدوران ونقطة تأثير القوة، أما θ فهي الزاوية المحصورة بين القوة المؤثرة ونصف القطر (المتجه الممتد من محور الدوران إلى نقطة تأثير القوة).

■ الشكل 3–2 عند فتح باب حر الدوران حول المُفصّلات يتولد أكبر عزم عندما تؤثر القوة في أبعد نقطة عن المُفصّلات (a) بزاوية متعامدة مع الباب (b)



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 4–2** تكون ذراع القوة محاذية لعرض الباب من المُفصّلات حتى نقطة تأثير القوة (a)، تحسب ذراع القوة (L) من المعادلة $L = r\sin\theta$ عندما تكون الزاوية θ بين القوة ونصف قطر الدوران لا تساوي 90° (b).

العـزم مقياس لمقدرة القوة على إحداث الدوران، ومقدار العزم يساوي حاصل ضرب القوة في طول ذراعها. ولأنّ القوة مقيسة بوحدة النيوتن والمسافة بوحدة المتر فإن العزم يقاس بوحدة (N.m)، ويرمز له بالحرف اللاتيني τ، ويُعبر عنه بالمعادلة الآتية:

العزم $\tau = Fr\sin\theta$

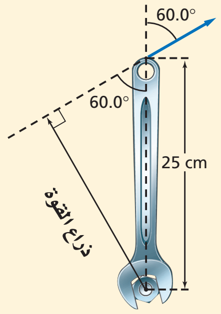
العزم يساوي حاصل ضرب القوة في طول ذراعها.

◄ مثـــال 1

ذراع القوة يتطلب شد صامولة في محرك سيارة عزمًا مقداره 35 N.m. إذا استخدمت مفتاح شد طوله 25 cm، فأثرت في نهاية المفتاح بقوة تميل بزاوية 60.0° بالنسبة إلى الرأسي فما طول ذراع القوة؟ وما مقدار القوة التي يجب أن تُؤثر بها؟

1 تحليل المسألة ورسمها

• مثّل الوضع، وجد طول ذراع القوة بسحب متجه القوة من نهايته حتى يتقاطع الخط العمودي عليه مع محور الدوران.



المعلوم	المجهول
$r = 0.25\ \text{m}$، $\tau = 35\ \text{N.m}$، $\theta = 60.0°$	$L = ?$ $F = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

جد طول ذراع القوة باستخدام العلاقة.

$L = r\sin\theta$

عوّض مستخدمًا $r = 0.25\ \text{m}$، $\theta = 60.0°$

$= (0.25\ \text{m})(\sin 60.0) = 0.22\ \text{m}$

$\tau = Fr\sin\theta$ ، $F = \dfrac{\tau}{r\sin\theta}$

عوّض مستخدمًا $\tau = 35\ \text{N.m}$، $r = 0.25\ \text{m}$، $\theta = 60.0°$

$F = \dfrac{35\ \text{N.m}}{(0.25\text{m})(\sin 60°)}$

$= 1.6 \times 10^2\ \text{N}$

دليل الرياضيات
النسب المثلثية 228–229

3 تقويم الجواب

• **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس القوة بوحدة النيوتن.
• **هل الإشارات مهمة هنا؟** تم حساب مقدار القوة اللازمة فقط لتدوير المفتاح في اتجاه حركة عقارب الساعة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسائل تدريبية

10. بالرجوع إلى مفتاح الشد في المثال 1، ما مقدار القوة التي يجب التأثير بها عموديًّا في مفتاح الشد؟
11. إذا تطلب تدوير جسم عزمًا مقداره 55.0 N.m، في حين كانت أكبر قوة يمكن التأثير بها 135 N، فما طول ذراع القوة الذي يجب استخدامه؟
12. لديك مفتاح شد طوله 0.234 m، وتريد أن تستخدمه في إنجاز مهمة تتطلب عزمًا مقداره 32.4 N.m، عن طريق التأثير بقوة مقدارها 232 N. ما مقدار أقل زاوية تصنعها القوة المؤثرة بالنسبة إلى الرأسي، وتسمح بتوفير العزم المطلوب؟
13. إذا كانت كتلتك 65 kg ووقفت على بدالات دراجة هوائية، بحيث يصنع البدال زاوية مقدارها °35 على الأفقي، وتبعد مسافة 18 cm عن مركز حلقة السلسلة، فما مقدار العزم الذي تؤثر فيه؟ وما مقدار العزم الذي تؤثر فيه إذا كانت البدّالات رأسيَّة؟

إيجاد محصلة العزم Finding Net Torque

نفذ التجربة التالية: خذ قلمي رصاص، وقطع نقد معدنية، وشريطًا لاصقًا شفافًا، وثبت قطعتي نقد متماثلتين بنهايتي أحد القلمين، ودعه يتزن فوق القلم الثاني، كما في **الشكل 5–2**. تؤثر كل من قطعتي النقد بعزم مساوٍ لوزنها F_g مضروبًا في المسافة r من نقطة الاتزان إلى مركز قطعة النقد على النحو الآتي:

$$\tau = F_g r$$

ولكن العزمين متساويان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه، لذا تساوي محصلة العزم صفرًا.

$$\boldsymbol{\tau}_1 + \boldsymbol{\tau}_2 = 0$$

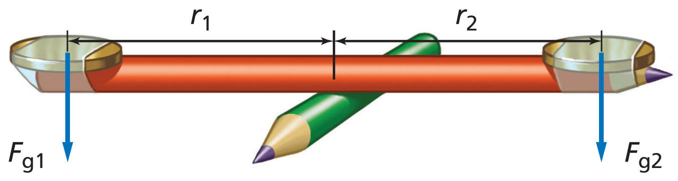
أو

$$F_{g1} r_1 - F_{g2} r_2 = 0$$

والآن، كيف تجعل القلم يدور؟ يجب إضافة قطعة نقد أخرى فوق إحدى القطعتين النقديتين، مما يجعل القوتين مختلفتين، كما يمكن إزاحة نقطة الاتزان نحو إحدى قطعتي النقد، مما يجعل المسافتين مختلفتين.

تجربة عملية
العزوم
ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين الإثرائية

■ **الشكل 5 – 2** عندما يتزن قلم الرصاص فإن العزم المؤثر بواسطة القطعة النقدية الأولى $F_{g1}\, r_1$ يساوي العزم المؤثر بواسطة القطعة النقدية الثانية $F_{g2}\, r_2$ في المقدار ويعاكسه في الاتجاه.



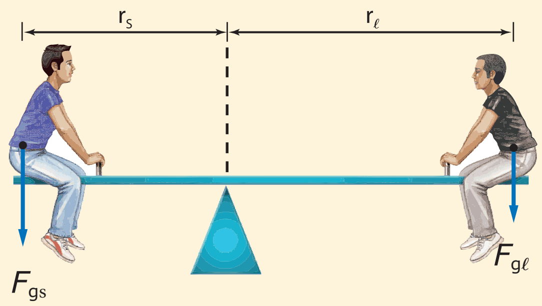
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مثـــال 2

اتزان العزوم يلعب سعيد ولؤي على أرجوحة أفقية طولها 1.75 m بحيث يحافظان على وضع الاتزان للعبة، فإذا كانت كتلة سعيد 56 kg وكتلة لؤي 43 kg فما بُعد نقطة الارتكاز عن كل منهما؟ (أهمل وزن لوح الأرجوحة).

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الوضع.
- ارسم المتجهات ثمّ سمِّها.



المعلوم	المجهول
$m_s = 56$ kg	$r_s = ?$
$m_\ell = 43$ kg	$r_\ell = ?$
$r_s + r_\ell = 1.75$ m	

2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب مقدار القوتين.

سعيد:

$$F_{gs} = m_s g = (56\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)$$
$$= 5.5 \times 10^2\ \text{N}$$

عوض مستخدمًا $g = 9.80\ \text{m/s}^2,\ m_s = 56\ \text{kg}$

لؤي:

$$F_{g\ell} = m_\ell g = (43\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)$$
$$= 4.2 \times 10^2\ \text{N}$$

عوّض مستخدمًا $g = 9.80\ \text{m/s}^2,\ m_\ell = 43\ \text{kg}$

احسب بعد سعيد عن نقطة الارتكاز بدلالة طول لعبة الميزان وكذلك بُعد لؤي. $r_s = 1.75\ \text{m} - r_\ell$

عندما لا يحدث الدوران يكون مجموع العزوم صفرًا.

$$F_{gs}\, r_s = F_{g\ell}\, r_\ell \rightarrow F_{gs}\, r_s - F_{g\ell} r_\ell = 0.0\ \text{N.m}$$

عوض مستخدمًا $r_s = 1.75\ \text{m} - r_\ell$

$$F_{gs}\,(1.75\ \text{m} - r_\ell) - F_{g\ell}\, r_\ell = 0.0\ \text{N.m}$$

حل المعادلة لإيجاد r_ℓ

$$F_{gs}\,(1.75\ \text{m}) - F_{gs}\, r_\ell - F_{g\ell}\, r_\ell = 0.0\ \text{N.m}$$
$$F_{gs}\, r_\ell + F_{g\ell}\, r_\ell = F_{gs}\,(1.75\ \text{m})$$
$$(F_{gs} + F_{g\ell})\, r_\ell = F_{gs}\,(1.75\ \text{m})$$
$$r_\ell = \frac{F_{gs}\,(1.75\ \text{m})}{(F_{gs} + F_{g\ell})}$$

دليل الرياضيات

فصل المتغير 215

عوّض مستخدمًا $F_{g\ell} = 4.2 \times 10^2\ \text{N}\ ,\ F_{gs} = 5.5 \times 10^2\ \text{N}$

$$= \frac{(5.5 \times 10^2\ \text{N})(1.75\ \text{m})}{(5.5 \times 10^2\ \text{N} + 4.2 \times 10^2\ \text{N})}$$
$$= 0.99\ \text{m}$$

3 تقويم الجواب

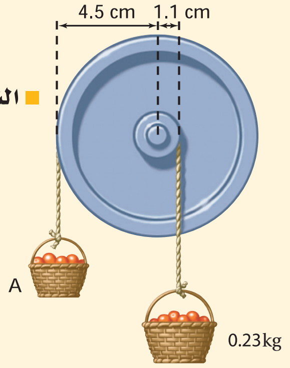
- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس المسافة بالمتر.
- **هل للإشارات المستخدمة معنى؟** المسافات تكون موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** لؤي على بُعد 1 m تقريبًا من المركز، لذا يكون سعيد على بُعد 0.75 m من المركز. ولأن وزن سعيد أكبر من وزن لؤي، فيكون ذراع القوة لديه أقل مما لدى لؤي، أيْ أن لؤيًّا على بُعد أكبر من نقطة الاتزان.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسائل تدريبية

.14 يجلس علِيّ على بُعد 1.8 m من مركز الأرجوحة، فعلى أي بعد من مركز الأرجوحة يجب أن يجلس عبدالله حتى يتزن؟ علمًا بأنَّ كتلة عليّ 43 kg وكتلة عبدالله 52 kg.

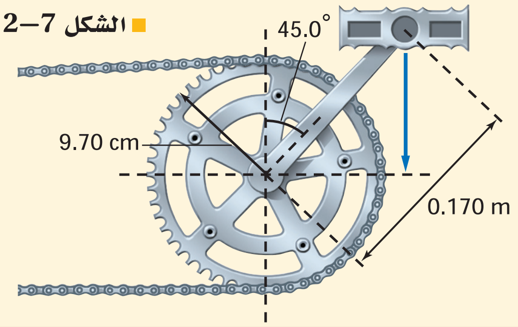
.15 إذا كان نصف قطر إطار دراجة هوائية 7.70 cm، وأثرت السلسلة بقوة عمودية مقدارها 35.0 N في الإطار في اتجاه حركة عقارب الساعة فما مقدار العزم اللازم لمنع الإطار من الدوران؟



■ الشكل 6–2

.16 عُلقت سلتا فواكه بحبلين يمران على بكرتين قطراهما مختلفان، فاتزنتا كما في **الشكل 6–2**. ما مقدار كتلة السلة A؟

.17 افترض أن نصف قطر البكرة الكبرى في السؤال السابق أصبح 6.0 cm فما مقدار كتلة السلة A؟



■ الشكل 7–2

.18 يقف شخص كتلته 65.0 kg على بدال دراجة هوائية، فإذا كان طول ذراع التدوير 0.170 m ويصنع زاوية 45.0° بالنسبة إلى الرأسي كما في **الشكل 7–2**. وكانت ذراع التدوير متصلة بالإطار الخلفي (الذي تديره السلسلة عادة)، فما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر فيها السلسلة لمنع الإطار من الدوران، علمًا بأن نصف قطر الإطار 9.70 cm؟

2–2 مراجعة

.19 **العزم** يريد عبد الرحمن أن يدخل من باب دوّار ساكن، وضّح كيف يدفع الباب ليولد عزمًا بأقل مقدار من القوة المؤثرة؟ وأين يجب أن تكون نقطة تأثير تلك القوة؟

.20 **ذراع القوة** حاول فيصل فتح باب، ولم يستطع دفعه بزاوية قائمة، فدفعه بزاوية 55° بالنسبة للعمودي، فقارن بين قوة دفعه للباب في هذه الحالة وبين القوة اللازمة لدفعه عندما تكون القوة عمودية عليه (90°) مع تساوي سرعة الباب في الحالتين.

.21 **محصلة العزم** يسحب شخصان حبلين ملفوفين حول حافة إطار كبير، فإذا كانت كتلة الإطار 12 kg وقطره 2.4 m، ويسحب أحد الشخصين الحبل الأول في اتجاه حركة عقارب الساعة بقوة 43 N، ويسحب الشخص الآخر الحبل الثاني في اتجاه معاكس لاتجاه حركة عقارب الساعة بقوة 67 N، فما محصلة العزم على الإطار؟

.22 **التفكير الناقد** إذا وضعت كرة عند أعلى سطح مائل مهمل الاحتكاك فسوف تنزلق إلى أسفل السطح دون دوران، ولكن إذا كان السطح خشنًا فإنّ الكرة ستتدحرج في أثناء انزلاقها إلى أسفل. وضح سبب ذلك، مستخدمًا مخطط الجسم الحر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–3 الاتزان Equilibrium

لمـــاذا لبعض المركبات قابلية للانقلاب أكثر من غيرهـــا عند تعرضها لحادثٍ ما؟ ما الذي يجعل المركبة تنقلب؟ إن الســـبب يكمن في تصميم المركبة. وســـوف تتعرّف في هذا الجزء بعض العوامل التي تؤدي إلى انقلاب الأجسام.

مركز الكتلة The Center of Mass

كيف يدور الجســـم حول مركز كتلته؟ قد يدور مفتاح الشـــد حول مقبضه أو حول أحد طرفيه، فهل تتحرك أي نقطـــة ماديـــة على مفـــتاح الشد في مسار مستقيم؟ يوضـــح **الشكل 2–8a** حركة مفتاح الشد، ويمكنك ملاحظة أن هناك نقطة واحدة تسلك مسارًا في صورة خطّ مستقيم، كما لو أنه استعيض عن مفتاح الشد بجسم نقطي موضوع في تلك النقطة. إن **مركز الكتلة** لجســـم ما عبارة عن نقطة في الجســـم تتحرك بالطريقة نفسها التي يتحرك بها الجسيم النقطي.

تحديد موقع مركز الكتلة كيف تحدّد موقع مركز الكتلة لجسم ما؟ أولاً علِّق الجسم من أي نقطة، وعندما يتوقف الجســـم عن التأرجح يكون مركز الكتلة على الخط الرأسي المرسوم من نقطة التعليق، كما في **الشـــكل 2–8b**. ارسم هذا الخط، ثم علِّق الجسم مرة أخرى من أي نقطة. ارسم خطًّا رأســـيًّا من نقطة التعليق الجديدة، ومرة أخرى سيكون مركز الكتلة على الخط المســـتقيم تحت نقطة التعليق. وهذا يعني أن مركز الكتلة في النقطة التي يتقاطع فيها الخطان. إن مفتاح الشـــد والمضرب –في المثال الســـابق– وكل الأجسام التي تتحرك حركة دورانيـــة حرة إنما تدور حور محور يمر خلال مركز كتلتهـــا. والآن، أين يقع مركز الكتلة لشخص ما؟

◄ الأهداف

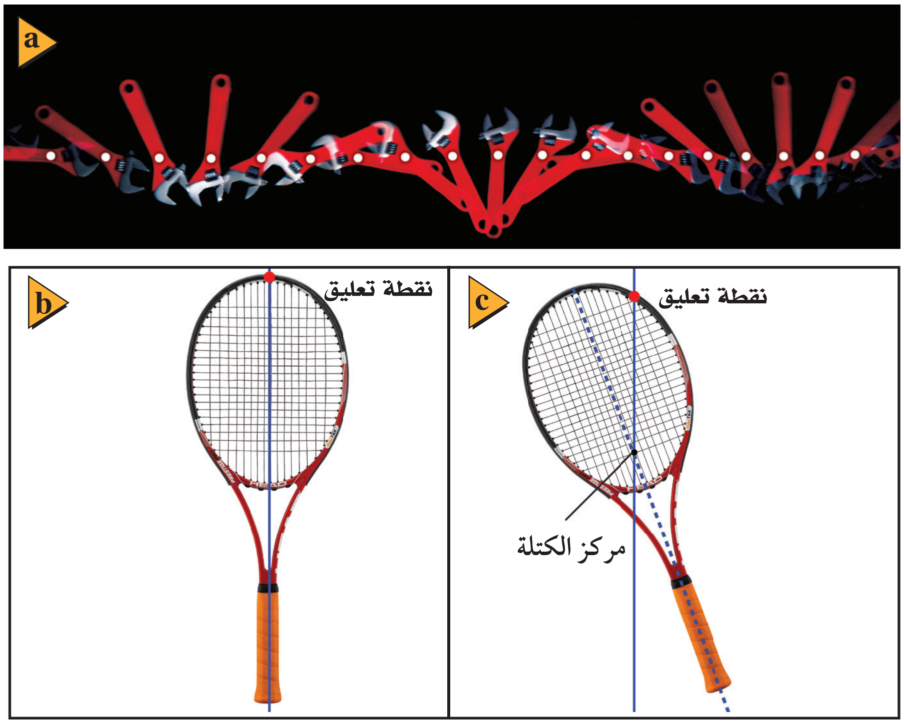
- **تُعرِّف** مركز الكتلة.
- **توضح** تأثير موقع مركز الكتلة في استقرار الجسم.
- **تتعرف** شروط الاتزان.
- **تصف** كيف يؤدي دوران الأطر المرجعية (محاور الإسناد) إلى ظهور قوى ظاهرية.

◄ المفردات

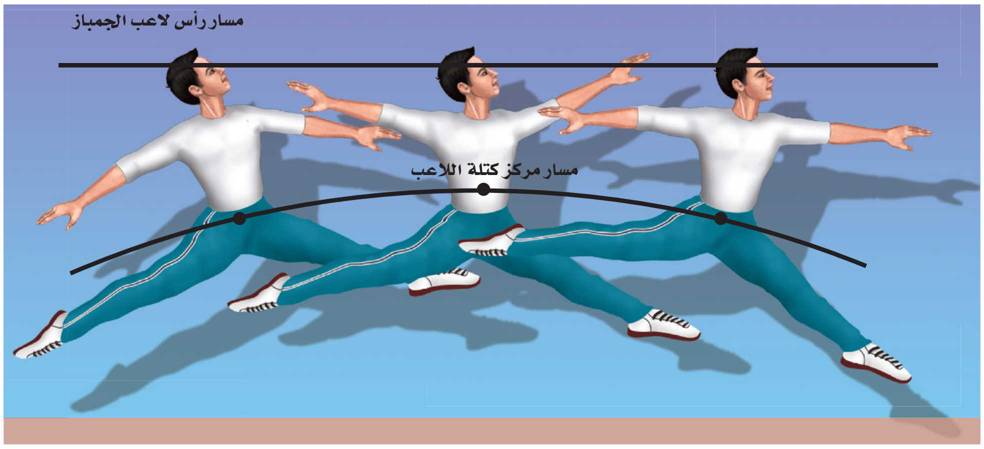
مركز الكتلة

القوة الطاردة المركزية

قوة كوريوليس



■ **الشكل 2–8** يكون مسار مركز الكتلة لمفتاح الشد خطًّا مستقيمًا (**a**). يمكن إيجاد مركز الكتلة لجسم مثل مضرب تنس بتعليقه من أي نقطة ثم تكرار تعليقه من نقطة أخرى (**b**). النقطة التي تتقاطع عندها الخطوط المرسومة هي مركز كتلة المضرب (**c**).



■ **الشكل 9–2** الحركة الرأسية لرأس لاعب الجمباز أقل من الحركة الرأسية لمركز الكتلة، حيث إنّ الرأس والجذع يتحركان أفقيًّا تقريبًا، فيبدو ذلك وكأنه تحليق في الهواء.

مركز الكتلة لجسم الإنسان بالنسبة لشخص يقف ويداه متدليتان يكون مركز الكتلة على بعد سنتمترات أسفل السرة في منتصف المسافة بين جزأي الجسم الأمامي والخلفي. ويكون أعلى من ذلك قليلًا لدى الأطفال الصغار؛ لأن رأس الطفل الصغير يكون كبيرًا بالنسبة إلى جسمه. ولأن جسم الإنسان مرن فإن مركز كتلته غير ثابت؛ فإذا رفعت يديك فوق رأسك فإن مركز كتلتك يرتفع من 6 cm إلى 10 cm. فمثلاً يبدو لاعب الجمباز وكأنه يحلِّق في الهواء؛ وذلك بتغيير مركز كتلته عندما يقفز، فهو يرفع ذراعيه ورجليه في الهواء، كما في **الشكل 9–2**، مما يؤدي إلى رفع مركز كتلته إلى أعلى، ويكون مسار مركز الكتلة على شكل قطع مكافئ، لذا يبقى رأس اللاعب على الارتفاع نفسه تقريبًا لوقت طويل نسبيًّا.

تطبيق الفيزياء

◄ **قفزة فوسبري**

هناك تقنية في القفز بالزانة تسمى قفزة فوسبري، وهي تسمح للاعب بالمرور فوق العارضة دون أن يمسها عندما يكون عند أعلى موضع له. وهذا ممكن لأن مركز كتلة اللاعب يكون عند أسفل العارضة عندما ينقلب فوقها، بحيث يكون ظهره في اتجاهها. ►

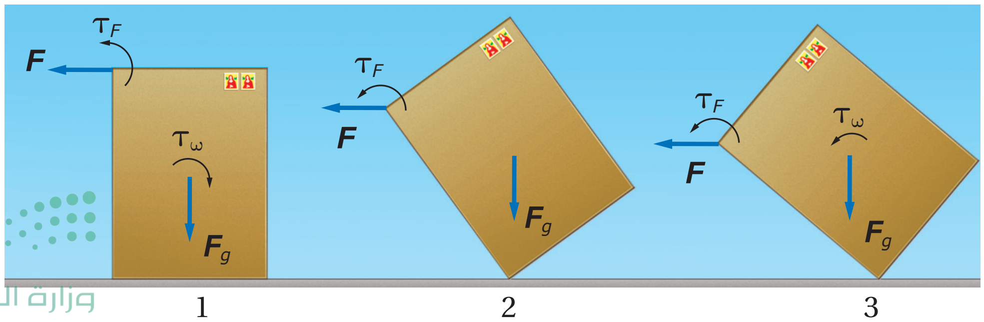
مركز الكتلة والاستقرار (الثبات) Center of Mass and stability

ما العوامل التي يعتمد عليها استقرار مركبة أو تعرضها للانقلاب أو الدوران عند تعرضها لحادثٍ ما؟ لكي تتعرف كيفية حدوث ذلك فكر في عملية قلب صندوق. لماذا ينقلب الصندوق المرتفع القليل العرض أسرع من الصندوق المنخفض والعريض؟ لقلب صندوق، كما في **الشكل 10–2**.

1– يجب تدويره حول إحدى حوافه (زواياه)، بحيث تؤثر في أعلى الصندوق بقوة F لتولد عزما τ_F،ويؤثر وزن الصندوق في مركز الكتلة بقوة F_g فتولد عزما معاكسا τ_ω.

2– يُصبح مركز الكتلة فوق النقطة الداعمة (الإسناد) مباشرة يصبح τ_ω صفرا، ويبقى تأثير العزم الخارجي فقط، وبدوران الصندوق أكثر يبتعد مركز الكتلة عن النقطة الداعمة.

3–يُؤثر العزمان في الاتجاه نفسه، فينقلب الصندوق بسرعة.



■ **الشكل 10–2** توضح الأسهم المنحنية اتجاه العزم الناتج عن القوة المؤثرة لقلب الصندوق.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الاستقرار يُعد الجسم في حالة استقرار إذا احتاج إلى قوة خارجية لقلبه أو تحريكه؛ فالصندوق في **الشكل 10–2** يبقى مستقرًّا ما دام اتجاه العزم الناتج عن وزنه τ_w يُبقيه مستقرًّا على قاعدته. ويتحقق ذلك عندما يكون مركز كتلة الصندوق فوق قاعدته. ولقلب الصندوق أو تدويره يجب تدوير مركز كتلته حول محور الدوران حتى يبتعد مركز الكتلة عن القاعدة، ولتدوير الصندوق يجب أن ترفع مركز كتلته. لذلك كلما كانت قاعدة الجسم عريضة كان أكثر استقرارًا (يتطلب قلبه تسليط عزم يدور مركز الكتلة مسافة طويلة حتى يصبح خارج القاعدة)، فعندما تقف في حافلة، وتتمايل في أثناء سيرها فإنك تباعد بين قدميك قليلًا بحيث تزيد المسافة بينهما لتتجنب السقوط.

لماذا تنقلب السيارات؟ يُبين **الشكل 11–2** سيارتين توشكان على الانقلاب. لاحظ أن السيارة ذات الارتفاع الأكبر يكون مركز كتلتها مرتفعًا، لذلك يؤدي ميل قاعدتها قليلاً إلى خروج مركز كتلتها عن القاعدة، فتنقلب السيارة، وكلما كان مركز كتلة الجسم منخفضًا تكون السيارة أكثر استقرارًا.

أمّا أنت فتكون أكثر استقرارًا عندما تقف مستويًا على قدميك. فإذا وقفت على أصابع قدميك فإن مركز كتلتك يتحرك مباشرة إلى الأمام، ويصبح فوق مقدمة القدمين، وتكون في حالة أقل استقرارًا. وفي لعبة الجودو وألعاب الدفاع عن النفس الأخرى يستخدم اللاعب فيها العزم لتدوير الخصم، بحيث لا يكون مركز كتلته فوق قدميه، مما يجعله في وضع أقل استقرارًا أو ثباتًا.

نستنتج مما سبق أنه إذا كان مركز الكتلة خارج قاعدة الجسم كان الجسم غير مستقر، ويدور أو ينقلب دون تأثير عزم إضافي، وإذا كان مركز الكتلة فوق قاعدة الجسم فإن الجسم يكون مستقرًّا، وإذا كانت قاعدة الجسم ضيقة ومركز الكتلة فوق القاعدة فإن الجسم يكون مستقرًّا، إلا أنّ أي قوة صغيرة تجعله ينقلب أو يدور.

شرطا الاتزان Conditions of Equilibrium

إذا كان قلم الحبر ساكنًا، فماذا يحتاج لكي يبقى كذلك؟ يمكن أن تحمله بيدك بحيث يكون في وضع رأسي، أو تضعه على الطاولة، أو على أي سطح آخر، أي يجب أن تؤثر في القلم بقوة إلى أعلى حتى تعادل قوة الجاذبية التي تؤثر فيه إلى أسفل. كما يجب أن تمنعه من الدوران، كأن تمسك به بيدك. ويُعد الجسم في حالة اتزان ميكانيكي إذا كانت سرعة الجسم المتجهة وسرعته الزاويّة المتجهة صفرًا، أو ثابتتين. وحتى يكون الجسم في حالة اتزان ميكانيكي يجب توافر شرطين:

الأول: يجب أن يكون في حالة اتزان انتقالي، أيْ أن محصلة القوى المؤثرة فيه تساوي صفرًا؛ $\Sigma F=0$.

الثاني: يجب أن يكون في حالة اتزان دوراني، أيْ أن محصلة العزوم المؤثرة فيه تساوي صفرًا؛ $\Sigma\tau=0$.

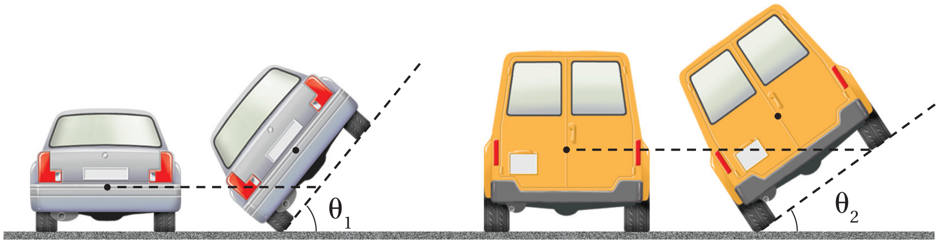
تجربة

التدوير والاستقرار

1. قص قرصين من الكرتون المقوى قطراهما 10 cm و 15 cm.
2. استخدم قلم رصاص ذا ممحاة ليس لها حواف، وإذا كانت كذلك فافركها على ورق لكي تزيل الحواف المستقيمة.
3. دوّر قلم الرصاص حول نفسه، وحاول أن تجعله يقف على الممحاة. كرّر هذه الخطوة عدة مرات، وسجل ملاحظاتك.
4. ادفع قلم الرصاص برفق في مركز القرص الأول (10 cm).
5. دوّر القلم والقرص معًا محاولاً جعل القلم يقف على الممحاة.
6. حرّك القرص على نقاط مختلفة على القلم وأدرهما معًا، وسجل ملاحظاتك.
7. كرّر الخطوات 4–6 مع القرص الآخر 15 cm.

التحليل والاستنتاج

8. رتب المحاولات التجريبية الثلاث تصاعديًا بحسب استقرارها.
9. صف موقع مركز كتلة قلم الرصاص.
10. حلّل تأثير موقع القرص في الاستقرار.



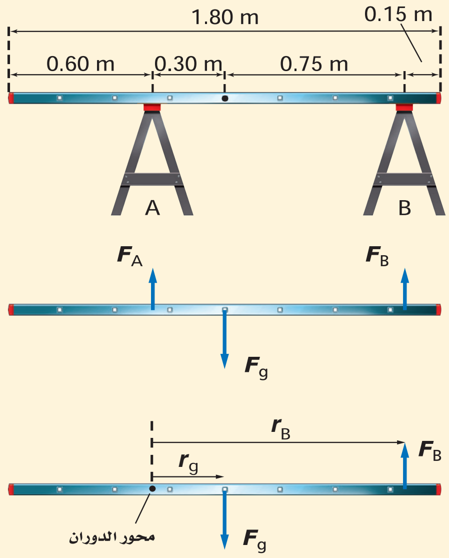
■ **الشكل 11–2** مركز كتلة السيارة الصفراء أعلى من مركز كتلة السيارة الرمادية. وكلما كان مركز كتلة السيارة مرتفعًا احتجنا إلى ميل أقل لجعله يتحرك خارج القاعدة مسببًا انقلابها.

مثـــــال 3

الاتزان الميكانيكي سُلّم خشبي كتلته 5.8 kg وطوله 1.80 m يستقر أفقيًّا على حاملين داعمين. يبعد الحامل الأول A مسافة 0.60 m عن طرف السلّم، ويبعد الحامل الثاني B مسافة 0.15 m عن الطرف الآخر له. ما مقدار القوة التي يؤثر بها كل من الحاملين في السلّم؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الوضع، ثم اختر محور الدوران عند النقطة التي تؤثر فيها إحدى القوتين المجهولتين؛ وذلك لتقليل المجاهيل في المعادلة؛ حيث عزم القوة حول محور دورانها صفرًا. اختر النقطة التي تؤثر فيها F_A في السُّلّم محور دوران، فيكون العزم الناتج عن هذه القوة F_A صفرًا.



المعلوم	المجهول
$m = 5.8\ \text{kg}$	$F_A = ?$
$\ell = 1.8\ \text{m}$	$F_B = ?$
$\ell_A = 0.60\ \text{m}$	
$\ell_B = 0.15\ \text{m}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

يكون مركز كتلة السـلم الذي كثافته ثابته (منتصف الطول والعرض)، ومحصلة القوة المؤثرة في السـلم هي مجموع القوى المؤثرة فيه.

بما أن السلم في حالة اتزان ميكانيكي إذا نطبق شرطي الاتزان الميكانيكي.

أولاً: السلم في وضع اتزان انتقالي. لذا محصلة القوى المؤثرة فيه صفر

$$\mathbf{F}_{\text{محصلة}} = \mathbf{F}_A + \mathbf{F}_B + \mathbf{F}_g$$

$$F_{\text{محصلة}} = F_A + F_B + (-F_g)$$

مستخدمًا المعادلة $r_s = 1.75\ \text{m} - r_\ell$

$$0.0\ \text{N} = F_A + F_B - F_g$$

أوجد F_A

$$F_A = F_g - F_B$$

أوجد العزم الناشئ عن F_B ، F_g

τ_g في اتجاه حركة عقارب الساعة

$$\tau_g = -r_g F_g$$

τ_B في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة

$$\tau_B = +r_B F_B$$

محصلة العزوم هي مجموع كل العزوم المؤثرة في الجسم.

$$\tau_{\text{محصلة}} = \tau_B + \tau_g$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

ثانياً: السلم في وضع اتزان دوراني لذا فإن

$0.0\ \text{N.m} = \tau_B + \tau_g$

$\tau_B = -\tau_g$

عوض مستخدمًا τ_B ، τ_g

$r_B F_B = r_g F_g$

أوجد F_B

$F_B = \dfrac{r_g F_g}{r_B}$

عوض مستخدمًا $F_g = mg$

$= \dfrac{r_g m g}{r_B}$

استخدم العلاقة $F_A = F_g - F_B$ وعوض F_B ، F_g

$F_A = F_g - F_B$

عوض مستخدمًا $F_B = \dfrac{r_g F_g}{r_B}$

$F_A = F_g - \dfrac{r_g m g}{r_B}$

$= mg - \dfrac{r_g m g}{r_B} = (1 - \dfrac{r_g}{r_B})\, mg$

يكون مركز كتلة السلم الذي كثافته ثابتة في مركزه.

ويمكنك التوصل من الرسم إلى أن

$r_g = 0.30\ \text{m}$

$r_B = 1.05\ \text{m}$

دليل الرياضيات

فصل المتغير 215

احسب F_B :

$F_B = \dfrac{r_g m g}{r_B}$

عوض مستخدمًا $r_B = 1.05\ \text{m}$، $m = 5.8\ \text{kg}$، $g = 9.80\ \text{m/s}^2$، $r_g = 0.30\ \text{m}$

$F_B = \dfrac{(0.30)(5.8\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)}{(1.05\ \text{m})} = 16\ \text{N}$

احسب F_A:

عوض مستخدمًا $r_g = 0.30\ \text{m}$ ، $m = 5.8\ \text{kg}$

$g = 9.80\ \text{m/s}^2$، $r_B = 1.05\ \text{m}$

$F_A = mg\ (1 - \dfrac{r_g}{r_B})$

$= (5.8\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)\ (1 - \dfrac{(0.30\ \text{m})}{(1.05\ \text{m})})$

$= 41\ \text{N}$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تُقاس القوى بوحدة النيوتن.
- **هل الإشارات المستخدمة صحيحة؟** نعم؛ فالقوتان إلى أعلى.
- **هل الجواب منطقي؟** مجموع القوتين لأعلى يساوي وزن السلّم، والقوة التي يؤثر بها الحامل القريب من مركز الكتلة هي القوة الأكبر، وهذا صحيح.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسائل تدريبية

23. يتزن لوح خشبي كتلته 24 kg وطوله 4.5 m على حاملين، أحدهما تحت مركز اللّــوح مباشرة، والثاني عند الطرف. ما مقــدار القوتين اللتين يؤثر بهما كل من الحاملين الرأسيين في اللوح؟

24. يتحرك غطاس كتلته 85 kg نحو الطرف الحر للوح القفز، فإذا كان طول اللّوح 3.5 m وكتلته 14 kg، وثبت بداعمين، أحدهما عند مركز الكتلة، والآخر عند أحد طرفي اللّوح، فما مقدار القوة المؤثرة في كل داعم؟

دوران الأطر المرجعية Rotating Frames of Reference

عندمــا تركب عربة دوّارة في مدينــة الألعاب، وتدور بك بسرعة، تشــعر كأن قوة كبيرة تدفعك إلى الخارج. وإذا وجدت حصاة على أرضية العربة، فســوف تتسارع إلى خارجها دون أن تؤثر فيها قوة خارجية في الاتجاه نفســه. ولا تتحرك هذه الحصاة في خط مستقيم، ولا نســتطيع تطبيق قوانين نيوتن هنا؛ لأن الأطر المرجعية الدوّارة أطر متسارعة، وقوانين نيوتن تطبق فقط في حالة الأطر المرجعية غير المتسارعة (القصورية).

إنّ دراســة الحركة في إطار مرجعي يتحرك حركــة دورانية شيء مهمٌّ؛ لأنّ الأرض تدور. وتأثــير دوران الأرض قليل جدًّا لا يُمكن ملاحظته في الصف أو المختبر، ولكنّه ذو أهمية وتأثير كبيرين في الغلاف الجوي، ومن ثم في الطقس والمناخ.

القوة الطاردة المركزية Centrifugal Force

إذا ثُبّت أحد طرفي نابض في مركز منصّة دوّارة، وثُبت جسم في الطرف الآخر للنابض فإن الشــخص المراقب الذي يقف على المنصة سيلاحظ أن الجسم يشدّ النابض، أيْ أنه سيظن أنّ هناك قوة تؤثر في الجسم وتسحبه إلى الخارج بعيدًا عن مركز المنصة. وتُسمى هذه القوة الظاهرية **القوة الطاردة المركزية**، وهي قوة غير حقيقية؛ لأنّه لا توجد قوة تدفع الجســم إلى الخارج، ولكنك تشعر بالفعل بأنك تُدفع إلى الخارج عندما تكون في سيارة تتحرك على مسار دائري. فإذا كانت القوة الطاردة المركزية غير حقيقية فما تبرير شعورك بالاندفاع بعيدًا عن مركز الدوران؟ كما تعلمت سابقًا فإن للأجسام قصورًا ذاتيًّا؛ حيث تميل الأجسام المتحركة إلى الاســتمرار في الحركة في سرعة ثابتة وفي خط مستقيم، ولذلك يميل الجسم المتحرك في مسار دائري إلى الخروج عن مســاره عند كل نقطة ليتحرك بسرعة ثابتة وفي خط مستقيم غير أن القوة التي تســحبه في اتجاه المركز (القوة الجاذبة المركزية) تجبره على الاســتمرار في مساره الدائري. ويمكن أن نستنتج مما سبق أن الأجسام المتحركة في مسارات دائرية تخضع لقوة حقيقية تســحبها في اتجاه المركز، أما الدفع إلى الخارج فلا توجد قوة تســببه، وإنما هو

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

ناتج عن القصور الذاتي للأجسام. وفي حالة المنصة الدوارة يرى الشخص الواقف على الأرض أن الجسم يتحرك في مسار دائري ويتسارع نحو المركز بسبب قوة النابض، ويعبر عن تسارعه المركزي بعلاقة $a_c = \frac{v^2}{r}$. ويمكن كتابته بدلالة السرعة الزاوية المتجهة على النحو التالي: $a_c = \omega^2 r$؛ حيث يعتمد التسارع المركزي على المسافة من مركز الدوران، وعلى مربع السرعة الزاويّة المتجهة.

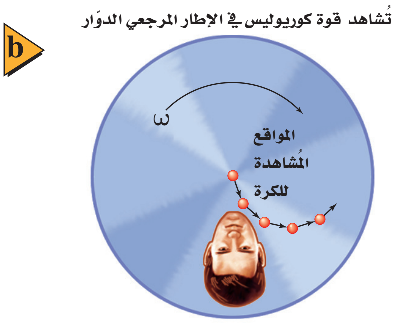
The Coriolis Force قوة كوريوليس

يظهر التأثير الثاني للدوران في **الشكل 12–2**. افترض أن شخصًا يقف في مركز قرص دوّار، ويقذف كرة إلى حافته الخارجية. لندرس الحركة الأفقية للكرة كما يراها مراقبان، على أن تهمل الحركة الرأسية للكرة في أثناء سقوطها.

إذا كان المراقب واقفًا خارج القرص، كما هو موضح في **الشكل 12a–2**، فسيرى الكرة تتحرك في خط مستقيم بسرعة ثابتة المقدار إلى طرف القرص الخارجي. أما المراقب الآخر الذي على القرص ويدور معه، فسيرى الكرة تتحرك في مسار منحنٍ بسرعة ثابتة مقدارًا، كما هو موضح في **الشكل 12b–2**، حيث يبدو أن هناك قوة تحرف الكرة عن مسارها، هذه القوة الظاهرية تُسمى **قوة كوريوليس**، وكما في القوة الطاردة المركزية، فإنّ قوة كوريوليس ليست حقيقية. ويعود سبب الإحساس بتأثيرها إلى أننا نلاحظ الانحراف في الحركة الأفقية عندما نكون في إطار مرجعي دوّار.

قوة كوريوليس الناشئة عن دوران الأرض افترض أن مدفعًا يطلق قذيفة من نقطة على خط الاستواء نحو الشمال. فإذا أطلقت القذيفة في اتجاه الشمال مباشرة، فسيظهر لها مركّبة سرعة في اتجاه الشرق؛ بسبب دوران الأرض، ويكون مقدار هذه المركبة عند خط الاستواء أكبر منه عند أي خط عرض آخر؛ لذا فإنه في أثناء حركة القذيفة شمالاً فإنها تتحرك أيضًا نحو

الشكل 12–2 قوة كوريوليس توجد فقط في الأطر المرجعية الدوّارة.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

■ **الشكل 13–2** يرى مراقب على الأرض أن القذيفة التي تطلق إلى الشمال تنحرف إلى يمين الهدف بسبب قوة كوريوليس.

الشرق بسرعة أكبر من النقاط التي تحتها على الأرض. ومن ثم ستسقط القذيفة شرق الهدف المقصود، انظر إلى **الشكل 13–2**. إن المراقب الذي في الفضاء سيلاحظ دوران الأرض، بينما المراقب الذي على الأرض سيفسر انحراف القذيفة عن هدفها بسبب تأثير قوة كوريوليس. أما الأجسام المتحركة نحو خط الاستواء فستنحرف بسبب قوة كوريوليس الظاهرية نحو الغرب، أي ستسقط القذيفة غرب الهدف المقصود عند قذفها نحو الجنوب.

الربط مع الأرصاد الجوية

إنّ اتجاه الرياح حول مناطق الضغط المرتفع والضغط المنخفض ناتجة عن قوة كوريوليس؛ حيث تتجه الرياح من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض. وبسبب قوة كوريوليس تنحرف الرياح القادمة من الجنوب إلى شرق مناطق الضغط المنخفض في نصف الكرة الأرضية الشمالي، بينما تنحرف الرياح القادمة من الشمال إلى غرب مناطق الضغط المنخفض؛ لذا تدور الرياح في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة حول مناطق الضغط المنخفض في نصف الكرة الأرضية الشمالي. أما في نصف الكرة الأرضية الجنوبي فتدور الرياح في اتجاه حركة عقارب الساعة حول مناطق الضغط المنخفض.

لنعد إلى العربات التي تتحرك حركة دورانية في مدينة الألعاب، هذه العربات تهز الركاب؛ لأنهم في أطر مرجعية متسارعة في أثناء حركة العربة. إن القوى التي يشعر بها ركاب الأفعوانية عند أسفل المنحدر وأعلاه، وعندما تتحرك رأسيًّا إلى أسفل تعود إلى التسارع الخطي.

تُحقق القوة الطاردة المركزية الإثارة والمتعة في العربات والألعاب الدوارة والمسارات المتعرجة في الأفعوانيات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

2–3 مراجعة

25. **مركز الكتلة** هل يمكن أن يكون مركز كتلة جسم في نقطة خارج الجسم؟ وضح ذلك.

26. **استقرار الجسم** لماذا تكون المركبة المعدّلة التي أضيف إليها نوابض لتبدو مرتفعة، أقل استقرارًا من مركبة مشابهة غير معدّلة؟

27. **شرطا الاتزان** أعط مثالاً على جسم في الحالات التالية:
   a. متزن دورانيًّا، ولكنه غير متزن انتقاليًّا.
   b. متزن انتقاليًّا، ولكنه غير متزن دورانيًّا.

28. **تعيين مركز الكتلة** وضّح كيف يمكنك إيجاد مركز كتلة كتاب الفيزياء؟

29. **دوران الأطر المرجعية** إذا وضعت قطعة نقد على قرص دوّار، وبدأت في الانزلاق إلى الخارج عند زيادة سرعة دورانها، فما القوى المؤثرة فيها؟

30. **التفكير الناقد** عندما تستخدم الكوابح ينخفض الجزء الأمامي للسيارة إلى أسفل. لماذا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مختبر الفيزياء

الاتزان الانتقالي والاتزان الدوراني

عند صيانة البنايات العالية تستخدم السقالات وتثبّت من الخارج. ولكي تُثبّت السقالات وتكون آمنة يجب أن تكون في اتزان انتقالي واتزان دوراني. لاحظ أنه إذا أثرت قوتان أو أكثر في السقالة يمكن أن تُحدث كل منها حركة دورانية حول طرفيها، أي تخل باتزانها. تؤثر كتلة السقالة إذا كانت موزعة بانتظام في مركزها. وفي حالة الاتزان الانتقالي لا تتسارع السقالة؛ فالقوى التي في اتجاه الأعلى مساوية للقوى التي في اتجاه الأسفل.

وللحصول على اتزان دوراني لابد أن يكون مجموع العزوم في اتجاه حركة عقارب الساعة يساوي مجموع العزوم في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة عند أي نقطة دوران.

سؤال التجربة

ما الشروط اللازمة للاتزان عندما تؤثر قوتان متوازيتان في جسم؟

الأهداف

- **اجمع البيانات** حول القوى المؤثرة في السقالة ونظمها.
- **صف** العزم في اتجاه حركة عقارب الساعة وفي عكس اتجاه حركتها.
- **قارن** بين الاتزان الانتقالي والاتزان الدوراني.

احتياطات السلامة

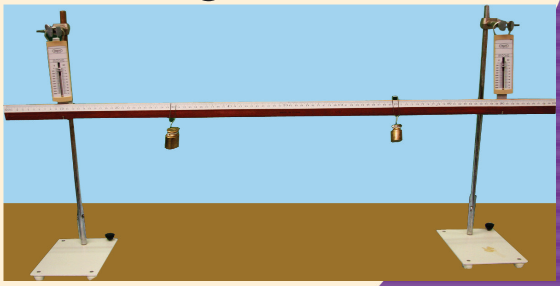
- كن حذرًا من سقوط الكتل.

المواد والأدوات

مسطرة مترية	ميزانان نابضيان بتدريج 5N
حاملان حلقيان رأسيان	ملزمتان قابلتان للحركة
كتلة تعليق 500 g	كتلة تعليق 200 g

الخطوات

سنعتبر الميزان الأيسر هو نقطة الدوران المحورية pivot point في هذه التجربة؛ حيث تقاس ذراع القوة من هذه النقطة.



1. ضع الحاملين الحلقيين على بُعد 80.0 cm أحدهما من الآخر.
2. ثبّت كلتا الملزمتين على حامل حلقي.
3. تأكد أن تدريج الميزانين النابضيين صفر قبل استخدامهما، وإذا كانا بحاجة إلى ضبط فاطلب مساعدة المعلم.
4. علق كلًّا من الميزانين بملزمة قابلة للحركة ومثبتة على الحامل.
5. ثبّت المسطرة المترية باستخدام الخطافين في نهاية النابضين، على أن يكون النابض الأيسر عند العلامة 10 cm، والنابض الأيمن عند العلامة 90 cm.
6. سجل قيمة القوة في جدول البيانات 1 في ضوء قراءة كلا الميزانين.
7. علق الكتلة 500 g على المسطرة المترية عند العلامة 30 cm؛ حيث تكون هذه النقطة على بعد 20 cm من الميزان الأيسر.
8. سجل قيمة القوة في جدول البيانات 1 في ضوء قراءة كلا الميزانين.
9. علق الكتلة 200 g على المسطرة المترية عند العلامة 70 cm، حيث تكون هذه النقطة على بعد 60 cm من الميزان الأيسر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

جدول البيانات 1			
الأجسام المضافة	المسافة من التدريج الأيسر (m)	قراءة الميزان الأيسر (N)	قراءة الميزان الأيمن (N)
المسطرة المترية	0.4		
كتلة 500 g	0.2		
كتلة 200 g	0.6		

جدول البيانات 2				
الأجسام المضافة	τ_c	τ_{cc}	ذراع القوة (m)	القوة (N)
المسطرة المترية				
كتلة 500 g				
كتلة 200 g				
القيمة الصحيحة				

جدول البيانات 3		
الأجسام المضافة	τ_c (N.m)	τ_{cc} (N.m)
المسطرة المترية		
كتلة 500 g		
كتلة 200 g		
القيمة الصحيحة		
$\sum \tau$		

10. سجل قيمة القوة في جدول البيانات 1 في ضوء قراءة كلا الميزانين.

التحليل

1. **احسب** أوجد كتلة المسطرة المترية.

2. **احسب** أوجد القوة أو الوزن الناتج عن كل جسم، وسجل قيمته في جدول البيانات 2. اقرأ القوة المؤثرة في النابض الأيمن، وسجلها في جدول البيانات 2.

3. استخدم النقطة التي عُلق عندها الميزان الأيسر بوصفها نقطة دوران محوري، وحدِّد جميع القوى التي تسبب دوران السقالة في اتجاه حركة عقارب الساعة أو في عكس اتجاه حركتها، وضع إشارة × عند هذه القوى في جدول البيانات 2.

4. سجل طول ذراع القوة لكل من هذه القوى من نقطة الدوران المحورية في جدول البيانات 2.

5. **استخدم الأرقام** احسب العزم لكل جسم، وذلك بضرب القوة في طول ذراع القوة، وسجل هذه القيم في جدول البيانات 3.

الاستنتاج والتطبيق

1. هل النظام في وضع اتزان انتقالي؟ كيف عرفت ذلك؟

2. ارسم مخطّط الجسم الحر لهذا النظام، مبينًا جميع القوى على الرسم.

3. قارن بين مجموع العزوم في اتجاه حركة عقارب الساعة ومجموع العزوم في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة.

4. ما النسبة المئوية للفرق بين $\sum \tau_c$ (مجموع العزوم السالبة) و $\sum \tau_{cc}$ (مجموع العزوم الموجبة)؟

التوسع في البحث

استخدم كتلاً إضافية في مواضع تختارها باستشارة المعلم، وسجل البيانات التي تحصل عليها.

الفيزياء في الحياة

ابحث في متطلبات الأمن والسلامة لاستخدام السقالة في منطقتك وتركيبها وفكها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

التقنية والمجتمع

الاستقرار في السيارات الرياضية
The Stability of Sport - Utility Vehicles

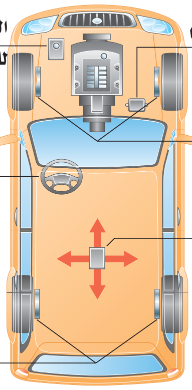
لماذا تكون السيارات الرياضية أكثر عرضة للانقلاب؟ يعتقد الكثيرون أن كبر حجم السيارة الرياضية يجعلها أكثر استقرارًا وأمانًا. إلا أن هذه السيارة مثلها مثل السيارات العالية الأخرى -ومنها سيارات الشحن- أكثر عرضة للانقلاب من السيارات العادية.

المشكلة أنّ للسيارات الرياضية مركز كتلة مرتفعًا يجعلها أقل قابلية للانقلاب. وهناك عامل آخر يؤثر في الانقلاب هو معامل الاتزان الاستاتيكي؛ وهو نسبة عرض المسار إلى ارتفاع مركز الكتلة، حيث يعرّف عرض المسار (Track width) بأنه نصف المسافة بين الإطارين الأماميين. وكلما كان معامل الاتزان الاستاتيكي أكبر كان للسيارة قدرة أكبر على البقاء في وضع رأسي. وفي معظم السيارات الرياضية يكون مركز الكتلة أعلى من سيارات الركاب العادية بمسافة تتراوح بين 13 cm و15 cm ، ويكون معامل عرض المسار للسيارات الرياضية مقاربًا لقيمته في السيارات العادية. افترض أن معامل الاتزان لسيارة رياضية 1.06 ولسيارة عادية 1.43، فيكون احتمال انقلاب السيارة الرياضية في أي حادث 37 % بحسب الإحصاءات، في حين يكون احتمال انقلاب سيارة الركاب العادية 10.6 %.

وليست المشكلة كلها في معامل الاتزان الاستاتيكي؛ فظروف الطقس وسلوك السائق وخصائص القصور الذاتي وأنظمة التعليق الحديثة وعوامل أخرى مرتبطة مع المركبة -ومنها الإطارات وأنظمة التوقف- جميعها لها دور في انقلاب السيارة.

إن معظم حوادث الانقلاب تحدث عندما تنحرف السيارة عن الطريق وتقع في حفرة أو تسير على تراب ناعم أو أي سطح غير منتظم، وهذا يحدث عادة عندما يكون السائق غير منتبه أو يقود السيارة بسرعة كبيرة. إلا أن السائق الحذر يقلل كثيرًا من وقوع حوادث الانقلاب؛ وذلك من خلال الانتباه المستمر والالتزام بالسرعة المحددة. وعلى الرغم من الأهمية المتكافئة لكل من الظروف الجوية وسلوك السائق، إلا أن قوانين الفيزياء توضح أن السيارات الرياضية خطرة جدًا.

ما الإجراءات المتخذة لمعالجة المشكلة؟ تصمم بعض السيارات متعددة الاستخدامات في الوقت الحاضر بحيث يكون عرض مسارها كبيرًا، أو سقفها قويًّا، أوتكون مزودة بوسائد هوائية جانبية إضافية لها مجسات تبقيها منتفخة 6 s بعكس الوضع الطبيعي وهو جزء من ثانية. كل ذلك لحماية الركاب عندما تنقلب السيارة أكثر من مرة.



وهناك تقنيات حديثة واعدة تُسمى النظام الإلكتروني للتحكم في الثبات (ESC) الذي يستخدم لمنع حدوث الانقلاب؛ إذ يحوي هذا النظام جهازًا إلكترونيًّا حساسًا يعطي إشارات عندما تبدأ السيارة في الدوران لأسباب خارجة عن السيطرة، وكذلك عندما تبدأ في الانزلاق لأسباب تحت السيطرة؛ حيث يطبق نظام ESC بشكل آلي الفرامل على واحد أو أكثر من الإطارات، فيعيد التوازن إلى السيارة، ويجعلها في الاتجاه الصحيح.

والقيادة السليمة للسيارة هي مفتاح الحل لمشكلة حوادث السيارات، ومعرفة قوانين الفيزياء التي تبحث في حوادث الانقلاب والعوامل الأخرى تساعد كثيرًا على تثقيف السائق وجعله يقود سيارته بصورة آمنة.

التوسع

1. **كوّن فرضية** عند تعرض عدة سيارات لحادث، تكون السيارات الرياضية عادة أكثر ثباتًا من سيارات الركاب العادية المشتركة في الحادث. فسر ذلك.
2. **ناقش** يُعد نظام ESC تقنية حديثة لإنقاذ حياة الركاب، فهل يجب أن يكون إلزاميًّا في السيارات الرياضية كلها؟ ولماذا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 2

دليل مراجعة الفصل

1–2 وصف الحركة الدورانية Describing Rotational Motion

المفردات

- الراديان
- الإزاحة الزاويّة
- السرعة الزاويّة المتجهة
- التسارع الزاويّ

المفاهيم الرئيسة

- يقاس الموقع الزاوي وتغيراته بالراديان، وتكون الدورة الكاملة الواحدة 2π rad.
- يُعبر عن السرعة الزاويّة المتجهة بالمعادلة الآتية: $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$
- يُعبر عن التسارع الزاويّ بالمعادلة الآتية: $\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$.
- عند دوران جسم صلب فإن كلاً من الإزاحة والسرعة والتسارع الزاوي يرتبط مع الإزاحة والسرعة والتسارع الخطي عند أي نقطة على الجسم بالمعادلات الآتية:

$$a = r\alpha \qquad v = r\omega \qquad d = r\theta$$

2–2 ديناميكا الحركة الدورانية Rotational Dynamics

المفردات

- ذراع القوة
- العزم

المفاهيم الرئيسة

- تتغير السرعة الزاويّة المتجهة لجسمٍ ما عندما يؤثر فيه عزم.
- يعتمد العزم على مقدار القوة المؤثرة، والمسافة من محور الدوران المستخدم والزاوية بين اتجاه القوة ونصف القطر من محور الدوران حتى نقطة تأثير القوة. $\tau = Fr\sin\theta$

3–2 الاتزان Equilibrium

المفردات

- مركز الكتلة
- القوة الطاردة المركزية
- قوة كوريوليس

المفاهيم الرئيسة

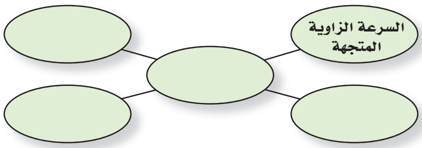
- مركز كتلة جسم هو نقطة على الجسم تتحرك بالطريقة نفسها التي يتحرك بها الجسيم النقطي.
- يكون الجسم ثابتًا ضد الانقلاب إذا كان مركز كتلته فوق قاعدته.
- يكون الجسم في وضع اتزان ميكانيكي إذا كانت محصلة القوى المؤثرة فيه صفرًا، وكذلك إذا كانت محصلة العزوم المؤثرة فيه صفرًا.
- القوى الطاردة المركزية قوى ظاهرية تظهر عندما تحلل حركة جسم يتحرك حركة دورانية باستخدام نظام إحداثيات يدور مع الجسم.
- قوة كوريوليس هي قوة ظاهرية تبدو كأنها تحرف جسم متحرك عن مساره بخط مستقيم ولا يمكن ملاحظتها إلا في نظام إحداثيات يدور مع الجسم.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

التقويم

خريطة المفاهيم

31. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: التسارع الزاويّ، نصف القطر، التسارع المماسي (الخطي)، التسارع المركزي.



إتقان المفاهيم

32. يدور إطار دراجة هوائية بمعدل ثابت 25 rev / min. فهل تقل سرعتها الزاوية المتجهة أم تزداد أم تبقى ثابتة؟ (1−2)

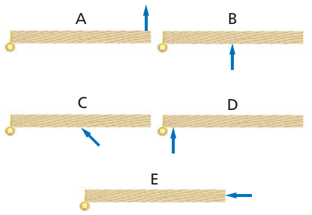
33. يدور إطار لعبة بمعدل ثابت 5 rev /min. فهل تسارعها الزاوي موجب أم سالب أم صفر؟ (1−2)

34. هل تدور جميع أجزاء الأرض بالمعدل نفسه؟ وضح ذلك. (1−2)

35. يدور إطار دراجة بمعدل ثابت 14 rev /min. فهل يكون اتجاه التسارع الكلي لنقطة على الإطار إلى الداخل، أم إلى الخارج، أم مماسيًّا، أم صفرًا؟ (1−2)

36. لماذا يُعد عــزم الدوران أهم من القوة عند محاولة شـدّ البرغي؟ (2−2)

37. رتب العزوم المؤثرة في الأبواب الخمسة فـي **الشكل 14−2** من الأقل إلى الأكبر. ولاحظ أنّ مقدار القوة هو نفسه في الأبواب كلها. (2−2)



الشكل 14−2

38. لمعايرة العجلات توضع عجلة السيارة على محور دوران رأسي، وتضـاف إليها أثقال لجعلها في وضع أفقي. لماذا تكافئ عمليةُ وضع الأثقـال على العجلة عمليةَ تحريك مركز كتلتها حتى يصبح في منتصفها؟ (3−2)

39. يقود سائقٌ سيارةً بطريقة خطرة؛ حيث يقودها على إطارين جانبيين فقط. فأين يكون مركز كتلة السيارة؟ (3−2)

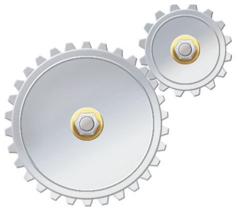
40. لماذا تتزن عندما تقف على أطراف أصابع قدميك حافيًا، ولا تستطيع الاتزان إذا وقفت مواجهًا للجدار وأصابع قدميك تلامسه؟ (3−2)

41. لماذا يظهر لاعب الجمباز وكأنه يطير في الهواء عندما يرفع ذراعيه فوق رأسه في أثناء القفز؟ (3−2)

42. لماذا يكون احتمال انقلاب سيارة لها إطارات أقطارها كبيرة أكبر من احتمال انقلاب سـيارة ذات إطارات أقطارها صغيرة؟ (3−2)

تطبيق المفاهيم

43. ناقلا حركة، أحدهما صغير والآخر كبير، متصلان معًا ويدوران كما في **الشكل 15 − 2**. قارن أولاً بين سرعتيهما الزاويّتين المتجهتين، ثم بين السرعتين الخطيتين لسنّين متصلين معًا.



الشكل 15−2

44. **الـدوران في حوض الغسـالة** ما مبدأ عمل الغسالة؟ وكيف يؤثر دوران الحوض في الغسيل؟ اشرح ذلك بدلالة القوى على الملابس والماء.

45. **الإطـار المثقـوب** افــترض أن أحد إطارات سـيارة والدك قد ثُقب، وأخرجت العدة لتساعده ووجدت أن هناك مشــكلة في مقبض مفتاح الشد المستخدم لفك صمولة البراغي الثابتة، وأنه من المستحيل فك الصواميل، فاقترح عليك والدك عدة طرائق لزيادة العــزم المؤثر لفكها. اذكر ثـلاث طرائق يمكن أن يقترحها عليك والدك؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 2

46. الألعاب البهلوانية يسير لاعب بهلواني على حبل حاملاً قضيبًا يتدلى طرفاه أسفل مركزه. انظر إلى **الشكل 16 – 2**. كيف يؤدي القضيب إلى زيادة اتزان اللاعب؟
تلميح: *ابحث في مركز الكتلة.*

الشكل 16–2

47. لعبة الحصان الدوّار عندما كان أحمد يجلس على لعبة الحصان الدوار، قذف مفتاحًا نحو صديقه الواقف على الأرض لكي يلتقطه. هل يجب عليه قذف المفتاح قبل أن يصل النقطة التي يقف عندها صديقه بوقت قصير، أم ينتظر حتى يصبح صديقه خلفه مباشرة؟ وضح ذلك.

48. لماذا نهمل القوى التي تؤثر في محور دوران جسم ما في حالة اتزان ميكانيكي عند حساب محصلة العزم عليه؟

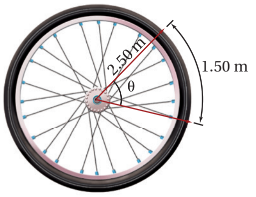
49. لماذا نجعل عادةً محور الدوران عند نقطة تؤثر بها قوة أو أكثر في الجسم عند حل مسائل في الاتزان الميكانيكي؟

إتقان حل المسائل

2–1 وصف الحركة الدورانية

50. نصف قطر الحافة الخارجية لإطار سيارة 45 cm وسرعته 23 m/s. ما مقدار السرعة الزاوية للإطار بوحدة rad/s؟

51. يدور إطار بحيث تتحرك نقطة عند حافته الخارجية مسافة 1.5 m. وإذا كان نصف قطر الإطار 2.50 m كما في **الشكل 17–2** فما مقدار الزاوية (بوحدات radians) التي دارها الإطار؟



الشكل 17–2

52. أديرت عجلة قيادة سيارة بزاوية قدرها 128°. انظر **الشكل 18–2**، فإذا كان نصف قطرها 22 cm فما المسافة التي تتحركها نقطة على الطرف الخارجي لعجلة القيادة؟

الشكل 18–2

53. المروحة تدور مروحة بمعدل 1880 rev/min أي (1880 دورة كل دقيقة).

a. ما مقدار سرعتها الزاويّة المتجهة بوحدة rad/s؟

b. ما مقدار الإزاحة الزاويّة للمروحة خلال 2.50 s؟

54. تناقص دوران المروحة في السؤال السابق من 475 rev/min إلى 187 rev/min خلال 4.00 s، ما مقدار تسارعها الزاويّ؟

55. إطار سيارة نصف قطره 9.00 cm كما في **الشكل 19–2**، يدور بمعدل 2.50 rad/s. ما مقدار السرعة الخطية لنقطة تقع على بعد 7.00 cm من مركز الدوران؟

الشكل 19–2

56. الغسالة غسالة قطر حوضها 0.43 m، لها سرعتان: الأولى تدور بمعدل 328 rev / min، والأخرى بمعدل 542 rev / min.

a. ما مقدار نسبة التسارع المركزي لسرعة الدوران الأسرع والأبطأ؟ تذكر أن $a_c = \frac{v^2}{r}$، و $v = r\omega$

b. ما نسبة السرعة الخطية لجسم على سطح الحوض لكل من السرعتين؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

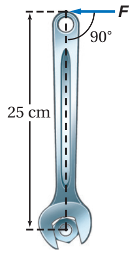
.57 أوجد القيمة القصوى للتسارع المركزي بدلالة g للغسالة في السؤال السابق.

.58 استخدم جهاز الطرد المركزي الفائق السرعة لفصل مكونات الدم، بحيث يولّد تسارعًا مركزيًّا مقداره 0.35×10^6 g على بُعد 2.50 cm من المحور. ما مقدار السرعة الزاوية المتجهة اللازمة بوحدة rev /min؟

2–2 ديناميكا الحركة الدورانية

.59 **مفتاح الشد** يتطلب شدّ برغي عزمًا مقداره 8.0 N.m، فإذا كان لديك مفتاح شد طوله 0.35 m. ما مقدار أقل قوة يجب التأثير بها في المفتاح؟

.60 ما مقدار العزم المؤثر في برغي والناتج عن قوة مقدارها 15 N تؤثر عموديًّا في مفتاح شدّ طوله 25 cm؟ انظر **الشكل 20 – 2**.



الشكل 20–2

2–3 الاتزان

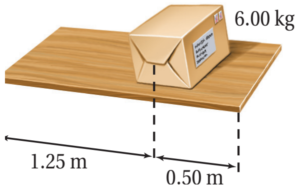
.61 تبين مواصفات سيارة أن وزنها موزع بنسبة 53 % على الإطارات الأمامية و 47 % على الإطارات الخلفية، فإذا كان طول لوح قاعدة سيارة 2.46 m، فأين يكون مركز كتلة السيارة؟

.62 لوح كتلته 12.5 kg وطوله 4.00 m، رفعه أحمد من أحد طرفيه، ثم طلب المساعدة، فاستجاب له جواد.

a. ما أقل قوة يؤثر بها جواد لرفع اللّوح إلى الوضع الأفقي؟ وعند أي جزء من اللّوح؟

b. ما أكبر قوة يؤثر بها جواد لرفع اللّوح إلى الوضع الأفقي؟ وعند أي جزء من اللّوح؟

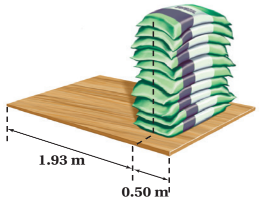
.63 يرفع شخصان لوحًا خشبيًّا من طرفيه إلى أعلى، فإذا كانت كتلة اللّوح 4.25 kg وطوله 1.75 m، ويوضع على بُعد 0.50 m من طرفه الأيمن صندوق كتلته 6.00 kg. انظر **الشكل 21–2**. ما القوتان اللتان يؤثر بهما الشخصان في اللّوح؟



الشكل 21–2

مراجعة عامة

.64 **التربة الرملية** وضعت عشرة أكياس مملوءة بتربة رملية يزن كل منها 175 N بعضها فوق بعض، على بُعد 0.5 m من الطرف الأيمن لقطعة خشبية طولها 2.43 m. انظر **الشكل 22–2**، فرفع شخصان طرفي القطعة من نهايتيها إلى أعلى. ما مقدار القوة التي يؤثر بها كل من الشخصين في القطعة الخشبية مع إهمال وزنها؟



الشكل 22–2

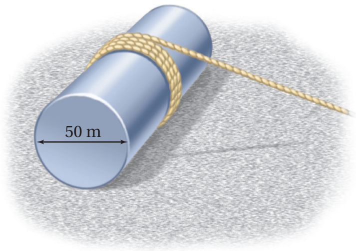
.65 يوضح **الشكل 23 – 2** أسطوانة قطرها 50 m في حالة سكون على سطح أفقي، فإذا لف حولها حبل ثم سحب، وأصبحت تدور دون أن تنزلق

a. فما المسافة التي يتحركها مركز كتلة الأسطوانة عند سحب الحبل مسافة 2.5 m بسرعة ثابتة؟

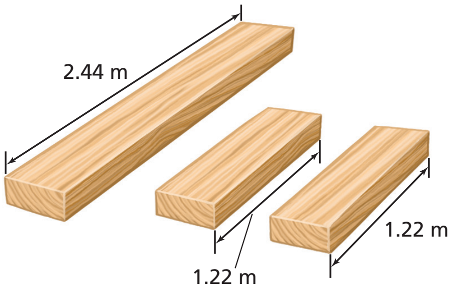
b. وإذا سحب الحبل مسافة 2.5 m خلال زمن 1.25 s فما سرعة مركز كتلة الأسطوانة؟

c. ما السرعة الزاوية المتجهة للأسطوانة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ الشكل 23—2



■ الشكل 24—2

.66 **القرص الصلب** يدور قرص صلب في حاسوب حديث 7200 rev /min (دورة لكل دقيقة). فإذا صمّم على أن يبدأ الدوران من السكون ويصل إلى السرعة الفعّالة خلال 1.5 s. فما التسارع الزاوي للقرص؟

.67 **عداد السرعة** تقيس معظم أجهزة قياس السرعة في السيارات السرعة الزاوية للحركة، ثم تحولها إلى سرعة خطية، فكيف تؤثر زيادة قطر الإطارات في قراءة عداد السرعة؟

.68 يسحب صندوق على الأرض باستخدام حبل مربوط بالصندوق على ارتفاع h من الأرض، فإذا كان معامل الاحتكاك 0.35 وارتفاع الصندوق 0.50 m وعرضه 0.25 m فما مقدار القوة اللازمة لقلب الصندوق؟

.69 إذا كان طول عقرب الثواني في ساعة يد 12 mm فما سرعة دورانه؟

.70 **عارضة خشبية** إذا اشتريت عارضة خشبيّة طولها 2.44 m، وعرضها 10 cm، وسمكها 10 cm، في حين اشترى زميلك عارضة خشبية مماثلة وقطعها إلى قطعتين طول كل منهما 1.22 m، انظر إلى **الشكل 24–2**، ثم حمل كل منكما ما اشتراه من الخشب على كتفيه.

a. فأيكما يرفع ما اشتراه من الخشب بطريقة أسهل؟ ولماذا؟

b. إذا كان كل منكما يؤثر بعزم بيديه ليمنع الخشب من الدوران، فأي الحملين يُعدّ منعه من الدوران أسهل؟ ولماذا؟

.71 **اللّوح المسطح** يحمل ماجد وعدي لوحًا مسطحًا طوله 2.43 m، ووزنه 143 N. فإذا كان ماجد يرفع أحد طرفي اللّوح بقوة 57 N

a. فما القوة التي يجب أن يؤثر بها عدي لرفع اللوح؟

b. أي أجزاء اللّوح يجب أن يرفعه عدي؟

.72 عارضة فولاذية طولها 6.50 m، ووزنها 325 N تستقر على دعامتين المسافة بينهما 3.00 m، وبُعد كل من الطرفين عن الدعامتين متساوٍ. فإذا وقفت سوزان في منتصف العارضة وأخذت تتحرك نحو أحد الطرفين فما أقرب مسافة تتحركها سوزان لهذا الطرف قبل أن تبدأ العارضة في الانقلاب إذا كان وزن سوزان 575 N؟

التفكير الناقد

.73 **تطبيق المفاهيم** نقطة على حافة إطار تتحرك حركة دورانية.

a. ما الشروط التي تجعل التسارع المركزي صفرًا؟

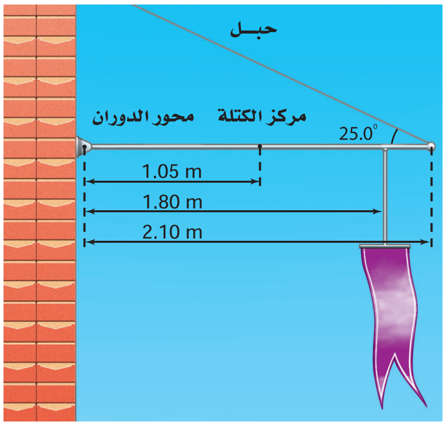
b. ما الشروط التي تجعل التسارع المماسي (الخطي) صفرًا؟

c. هل يمكن ألا يساوي التسارع الخطي صفرًا عندما يكون التسارع المركزي صفرًا؟ وضح ذلك.

d. هل يمكن ألا يساوي التسارع المركزي صفرًا عندما يكون التسارع الخطي صفرًا؟ وضح ذلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

74. **التحليل والاستنتاج** تتدلى راية كبيرة من سارية أفقية قابلة للدوران حول نقطة تثبيتها في جدار كما في **الشكل 25–2**، إذا كان طول السارية 2.10 m، ووزنها 175 N، ووزن الراية 105 N، وعُلِّقت على بُعـــد 1.80 m من محور الدوران (نقطة التثبيت في الجدار) فما قوة الشد في الحبل الداعم للسارية؟

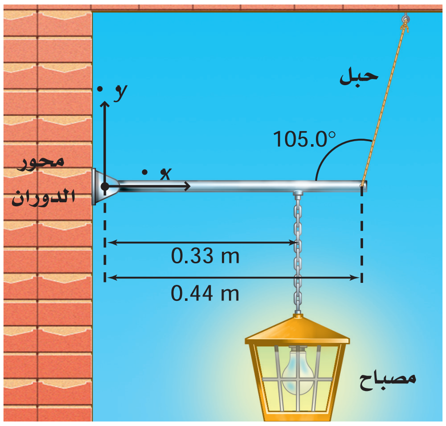


الشكل 25–2

75. **التحليل والاستـنتاج** يتدلى مصباح من سلسلة معلقة بقضيب أفقي قابل للدوران حول نقطة اتصاله بجدار، ومشدود من طرفه الآخر بحبل، انظر **الشكل 26–2**. إذا كان وزن القضيب 27 N، ووزن المصباح 64 N

a. فما العزم المتولد من كل قوة؟

b. ما قوة الشد في الحبل الداعم لقضيب المصباح؟



الشكل 26–2

76. **التحليل والاستنتاج** ينقل عدنان وسالم الأجسام الآتية إلى أعلى السلم: مرآة كبيرة، وخزانة ملابس، وتلفازًا، حيث يقف ســالم عند الطرف العلوي، ويقف عدنان عند الطرف السفلي. وعلى افتراض أن كليهما يؤثر بقوى رأسية فقط.

a. ارســم مخطط الجسم الحر مبينًا فيه سالمًا وعدنان يؤثران بالقوة نفسها في المرآة.

b. ارسم مخطط الجسم الحر مبينًا فيه عدنان يؤثر بقوة أكبر في أسفل خزانة الملابس.

c. أين يكون مركز كتلة التلفاز لكي يحمل سالم الوزن كله؟

الكتابة في الفيزياء

77. يعرف علماء الفلك أنه إذا كان التابع الطبيعي (كالقمر) قريبًا جدًّا من الكوكب فإنه سيتحطم إلى أجزاء بسبب قوى تسمى قوى المدّ والجزر. وبالمثل فإنّ الفرق بين قوتي الجاذبية الأرضية على طرفي القمر الاصطناعي القريب من الأرض والبعيد عنها أكبر من قوة تماسكه. ابحث في حد روش Roche limit، وحدّد بعد القمر عن الأرض ليدور حولها عند حد روش.

78. تصنف محركات الســيارات وفق عزم الدوران الذي تنتجه. ابحث عن سبب الاهتمام بعزم الدوران وقياسه.

مراجعة تراكمية

79. تحركت زلاجــة كتلتهــا 60.0 kg بسرعة 18.0 m/s في منعطف نصف قطره 20.0 m. كم يجب أن يكون الاحتكاك بين الزلاجة والجليد حتى تجتاز المنعطف؟

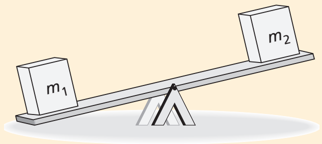
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبـار مقـنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. يبين الشكل صندوقين عند نهايتي لوح خشبي طوله 3.0 m، يرتكز عند منتصفه على دعامة تمثل محور دوران، فإذا كانت كتلة الصندوق الأيسر $m_1 = 25\ kg$ وكتلة الصندوق الأيمن $m_2 = 15\ kg$، فما بعد النقطة التي يجب وضع الدعامة عندها عن الطرف الأيسر لكي يتزن اللّوح الخشبي والصندوقان أفقيًّا؟



Ⓐ 0.38 m　　Ⓒ 1.1 m

Ⓑ 0.60 m　　Ⓓ 1.9 m

2. أثرت قوة مقدارها 60 N في أحد طرفي رافعة طولها 1.0 m، أما الطرف الآخر للرافعة فيتصل بقضيب دوّار متعامد معها، بحيث يمكن تدوير القضيب بدفع الطرف البعيد للرافعة إلى أسفل. فإذا كان اتجاه القوة المؤثرة في الرافعة يميل °30 فما العزم المؤثر في الرافعة؟

$(\sin 30° = 0.5 ، \cos 30° = 0.87 ، \tan 30° = 0.58)$

Ⓐ 30 N.m　　Ⓒ 60 N.m

Ⓑ 52 N.m　　Ⓓ 69 N.m

3. يحاول طفل استخدام مفتاح شدّ لفك برغي في دراجته الهوائية. ويحتاج فك البرغي إلى عزم مقداره 10 N.m وأقصى قوة يستطيع أن يؤثر بها الطفل عموديًّا في المفتاح 50 N. ما طول مفتاح الشد الذي يجب أن يستخدمه الطفل حتى يفك البرغي؟

Ⓐ 0.1 m　　Ⓒ 0.2 m

Ⓑ 0.15 m　　Ⓓ 0.25 m

4. تتحرك سيارة قطر كل إطار من إطاراتها 42 cm فتقطع مسافة 420 m. أي مما يأتي يبين عدد الدورات التي يدورها كل إطار عند قطع هذه المسافة؟

Ⓐ $\frac{5.0\times10^1}{\pi}$ rev　　Ⓒ $\frac{1.5\times10^2}{\pi}$ rev

Ⓑ $\frac{1.0\times10^2}{\pi}$ rev　　Ⓓ $\frac{1.0\times10^3}{\pi}$ rev

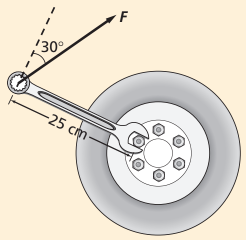
5. إذا كان قطر إطاري جرّار زراعي 1.5 m، وقاد المزارع الجرّار بسرعة خطية 3.0 m/s، فما مقدار السرعة الزاوية لكل إطار؟

Ⓐ 2.0 rad/s　　Ⓒ 4.0 rad/s

Ⓑ 2.3 rad/s　　Ⓓ 4.5 rad/s

الأسئلة الممتدة

6. استخدام مفتاح شد طوله 25 cm لفك صامولة برغي في إطار سيارة. انظر الشكل أدناه. وسُحب الطرف الحر للمفتاح إلى أعلى بقوة مقدارها 2.0×10^2 N، وتميل بزاوية °30، كما هو مبين في الشكل. ما مقدار العزم المؤثر في مفتاح الشد؟ $(\sin 30° = 0.5 ، \cos 30° = 0.87)$



إرشاد

تدرّب، تدرّب، تدرّب

تأمّل وفكّر في كل اختيار على حدة، واشطب الاختيار الذي تستبعد أن يكون صحيحًا. وإذا كنت لا تريد الكتابة على الكتاب المقرر فاستخدم ورقة خارجية لشطب الاختيار المستبعد. ولكسب المزيد من الوقت في اختيار الإجابة الصحيحة، استخدم الاستبعاد الذهني.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 3

الزخم وحفظه

Momentum & Its Conservation

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف الزخم والدفع، وتوظيف العلاقات والمفاهيم المرتبطة معهما عند التعامل مع الأجسام المتفاعلة.
- ربط القانون الثالث لنيوتن في الحركة مع قانون حفظ الزخم.

الأهمية

الزخم هو مفتاح النجاح في العديد من الألعاب الرياضية، ومنها البيسبول، وكرة القدم، وهوكي الجليد، والتنس.

البيسبول تتعلق أحلام لاعبي البيسبول بتمكنهم من ضرب الكرة لتتخذ مساراً طويلاً يأخذها إلى خارج الملعب. فعندما يقوم لاعب بضرب الكرة يتغير شكل كل من الكرة والمضرب لحظة تصادمهما تحديداً، ثم يتغير زخم كل منهما. ويحدد التغير في الزخم الناتج عن التصادم نجاح اللاعب في الضربة.

فكِّر ◄

ما القوة المؤثرة في مضرب البيسبول عند ضرب الكرة إلى خارج الملعب؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تجربة استهلالية

ماذا يحدث عندما تصطدم كرة بلاستيكية جوفاء بكرة مصمتة؟

سؤال التجربة ما الاتجاه الذي تتحرك فيه كل من الكرتين البلاستيكيتين الجوفاء والمصمتة بعد تصادمهما مباشرة؟

الخطوات

1. دحرج كرة مصمتة وكرة بلاستيكية جوفاء إحداهما في اتجاه الأخرى على سطح أملس.
2. لاحظ اتجاه حركة كل كرة بعد تصادمهما معًا.
3. أعد التجربة، على أن تحافظ على الكرة المصمتة ساكنة، وتدحرج الكرة البلاستيكية الجوفاء نحوها.
4. لاحظ اتجاه حركة كل كرة بعد تصادمهما معًا.
5. أعد التجربة مرة أخرى على أن تحافظ هذه المرة على بقاء الكرة البلاستيكية الجوفاء ساكنة، وتدحرج الكرة المصمتة نحوها.
6. لاحظ اتجاه حركة كل كرة بعد تصادمهما.

التحليل

ما العوامل التي تؤثر في سرعة الكرتين بعد تصادمهما؟ وما العوامل التي تحدّد اتجاه حركة كل منهما بعد تصادمهما؟

التفكير الناقد ما العامل أو العوامل التي تسبب ارتداد الكرة المصمتة إلى الخلف بعد اصطدامها بالكرة البلاستيكية الجوفاء؟

1–3 الدفع والزخم Impulse and Momentum

إن مشاهدة لاعب البيسبول وهو يضرب الكرة ليحرز النقاط أمر مثير للدهشة. حيث يرمي لاعب المرمى الكرة في اتجاه اللاعب ذي المضرب، الذي يضربها بدوره لترتد بسرعة كبيرة تحت تأثير دفع المضرب. ستقوم بدراسة التصادم في هذا الفصل بطريقة مختلفة عما فعلت في الفصول السابقة؛ حيث كان التركيز على القوتين المتبادلتين بين الكرة والمضرب وما ينتج عنهما من تسارع. أما في هذا الفصل فالتركيز على التفاعل الفيزيائي بين الجسمين المتصادمين. إن الخطوة الأولى في تحليل التفاعل الفيزيائي بين الجسمين هي وصف ما حدث للكرة والمضرب قبل التصادم وفي أثنائه وبعده. ونستطيع تبسيط دراسة التصادم بين الكرة والمضرب بافتراض أن جميع الحركات أفقية؛ حيث تحركت الكرة في اتجاه المضرب قبل التصادم، وتأثرت الكرة بالمضرب مما أدى إلى انضغاطها في أثناء التصادم، فتحركت الكرة بسرعة أكبر مبتعدة عن المضرب بعد تصادمهما، وأكمل المضرب مساره ولكن بسرعة أقل.

الأهداف

- **تتعرّف** مفهوم الزخم.
- **تحدّد** مقدار الدفع الواقع على جسم.

المفردات

الدفع

الزخم

نظرية الدفع – الزخم

الدفع والزخم Impulse and Momentum

ما العلاقة بين السرعتين المتجهتين للكرة قبل التصادم وبعده والقوة المؤثرة فيها؟ يصف القانون الثاني لنيوتن في الحركة كيف تتغير السرعة المتجهة لجسم بفعل القوة المحصلة المؤثرة فيه؛ إذ يحدث التغير في السرعة المتجهة للكرة بسبب قوة المضرب المؤثرة في الكرة، وتتغير القوة خلال الزمن، كما في **الشكل 1 – 3**. تنضغط الكرة بعد التلامس مباشرة، وتستمر القوة في التزايد حتى تصل إلى أقصى قيمة لها (أكبر من وزن الكرة أكثر من 10000 مرة)، ثم تستعيد الكرة شكلها، وتتحرك مبتعدة عن المضرب بسرعة، ويقل مقدار القوة مباشرةً ليصبح صفرًا. ويستغرق هذا الحدث فترة زمنية مقدارها 3.0 ms. فكيف تستطيع حساب التغير في السرعة المتجهة لكرة البيسبول؟

الدفع يمكن إعادة كتابة القانون الثاني لنيوتن، $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$، باستخدام تعريف التسارع بأنه حاصل قسمة التغير في السرعة المتجهة على الزمن الضروري لإحداث التغير. ويمثل ذلك بالمعادلة:

$$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a} = m\left(\frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}\right)$$

بضرب طرفي المعادلة في الفترة الزمنية Δt ، نحصل على المعادلة التالية: $\boldsymbol{F}\Delta t = m\Delta \boldsymbol{v}$

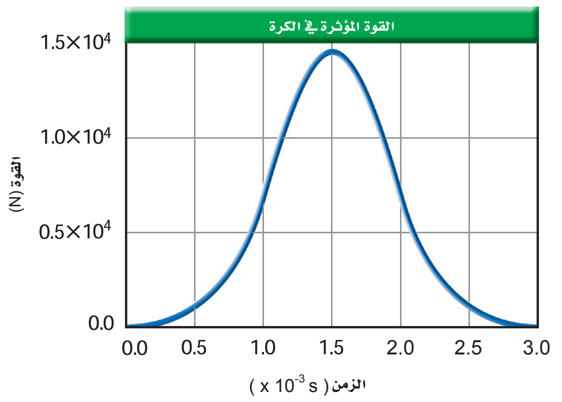
إن **الدفع**، أو $\boldsymbol{F}\Delta t$ هو حاصل ضرب متوسط القوة المؤثرة في جسم في زمن تأثير القوة. ويقاس الدفع بوحدة N.s. ويتم إيجاد مقدار الدفع في الحالات التي تتغير فيها القوة مع الزمن من خلال تحديد المساحة تحت منحنى العلاقة البيانية للقوة مع الزمن. انظر إلى **الشكل 1–3**.

يحتوي الجانب الأيمن من المعادلة، $m\Delta \boldsymbol{v}$ على التغير في السرعة المتجهة:

$\Delta \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_f - \boldsymbol{v}_i$. حيث يكون $m\Delta \boldsymbol{v} = m\boldsymbol{v}_f - m\boldsymbol{v}_i$. ويعرف حاصل ضرب كتلة الجسم m في سرعته المتجهة $\boldsymbol{v}$ **بزخم** الجسم؛ حيث يقاس الزخم بوحدة kg.m/s. ويعرف زخم الجسم بالزخم الخطي أيضًا، ويُعبر عنه بالمعادلة الآتية:

الزخم $\boldsymbol{p} = m\boldsymbol{v}$

زخم جسم ما يساوي حاصل ضرب كتلة الجسم في سرعته المتجهة.



■ **الشكل 1–3** تزداد القوة المؤثرة في الكرة، ثم تتناقص بسرعة خلال عملية التصادم، كما في هذا الشكل البياني الذي يوضح منحنى القوة —الزمن.

دلالة الألوان

- متجهات الزخم والدفع باللون البرتقالي.
- متجهات القوة باللون الأزرق.
- متجهات التسارع باللون البنفسجي.
- متجهات الإزاحة باللون الأخضر.
- متجهات السرعة باللون الأحمر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

بالرجوع إلى المعادلة $F\Delta t = m\Delta v = m\, v_f - m\, v_i$ ، حيث إن $m\, v_f = p_f$

و $m\, v_i = p_i$ ، فإنه يمكننا إعادة كتابة هذه المعادلة على النحو الآتي:

$$F\Delta t = m\Delta v = p_f - p_i$$

يصف الجانب الأيمن من هذه المعادلة $p_f - p_i$ التغير في زخم جسم ما. وبذلك يكون الدفع على جسم ما يساوي التغير في زخمه. وهذا يسمى **نظرية الدفع – الزخم**. ويعبر عن هذه النظرية من خلال المعادلة الآتية:

نظرية الدفع – الزخم $F\Delta t = p_f - p_i$

الدفع على جسم ما يساوي زخم الجسم النهائي مطروحًا منه زخمه الابتدائي.

إذا كانت القوة المؤثرة في جسم ثابتة فإن الدفع عبارة عن حاصل ضرب القوة في الفترة الزمنية التي أثرت خلالها هذه القوة. وعمومًا لا تكون القوة ثابتة، لذا يتم إيجاد الدفع باستخدام متوسط القوة مضروبًا في الفترة الزمنية التي أثرت خلالها، أو عن طريق إيجاد المساحة تحت منحنى القوة – الزمن.

ولأنّ السرعة كمية متجهة فإن الزخم أيضًا كمية متجهة. وبشكل مشابه لا بد أن يكون الدفع كمية متجهة؛ لأنَّ القوة كمية متجهة. وهذا يعني ضرورة أخذ الإشارات في الاعتبار عند التعامل مع الحركة في بعد واحد.

استخدام نظرية الدفع – الزخم
Using the Impulse Momentum Theorem

ما التغير في زخم كرة البيسبول؟ بناءً على نظرية الدفع – الزخم، فإن التغير في الزخم يساوي الدفع المؤثر في الجسم. ويمكن حساب الدفع المؤثر في كرة بيسبول باستخدام منحنى القوة – الزمن؛ حيث يساوي المساحة تحت المنحنى. في **الشكل 1–3**، الدفع يساوي 13.1 N.s تقريبًا. ويكون اتجاه الدفع في اتجاه القوة نفسه. لذا فإنّ التغير في زخم الكرة يساوي 13.1 N.s أيضًا، ولأنّ 1 N.s تساوي 1 kg.m /s، فإنَّ الزخم الذي تكتسبه الكرة يساوي 13.1 kg.m /s، ويكون اتجاهه في نفس اتجاه القوة المؤثرة في الكرة.

افترض أنَّ لاعبًا ما ضرب كرة كتلتها 0.145 kg بمضرب، وأن السرعة المتجهة للكرة قبل اصطدامها بالمضرب تساوي 38 m /s – . وبافتراض الاتجاه الموجب نحو رامي الكرة، يكون الزخم الابتدائي لكرة البيسبول:

$$p_i = (0.145\ \text{kg})\ (-38\ \text{m/s}) = -5.5\ \text{kg.m/s}$$

ما زخم الكرة بعد التصادم؟ طبّق نظرية الدفع – الزخم لإيجاد الزخم النهائي:

$p_f = p_i + F\Delta t$. أي أن الزخم النهائي هو مجموع الزخم الابتدائي والدفع. ويحسب

تطبيق الفيزياء

أحذية الركض

يُعد الركض على الأقدام عملاً شاقًا؛ فعندما يضرب العدّاء الأرض بقدمه تؤثر الأرض في القدم بقوة تساوي أربعة أمثال وزنه. ويصمم الحذاء الرياضي بحيث يكون نعله مزودًا بوسائد امتصاص؛ لتقليل القوة المؤثرة في القدم، مع المحافظة على دفع جيد، من خلال إطالة زمن تأثير القوة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الزخم النهائي للكرة على النحو الآتي:

$$\begin{aligned} p_f &= p_i + 13.1 \text{ kg . m/s} \\ &= -5.5 \text{ kg . m/s} + 13.1 \text{ kg . m/s} \\ &= +7.6 \text{ kg . m/s} \end{aligned}$$

ما السرعة المتجهة النهائية للكرة؟ بما أنّ $p_f = mv_f$، فإنه يمكن حساب v_f كالآتي:

$$v_f = \frac{p_f}{m} = \frac{+7.6 \text{ kg . m/s}}{0.145 \text{ kg}} = +52 \text{ m/s}$$

إن ضرب الكرة في الاتجاه الصحيح بسرعة 52 m/s يكفي لاجتياز حدود الملعب.

■ **الشكل 2—3** تنتفخ الوسادة الهوائية في أثناء التصادم، حيث تسبب القوة الناجمة عن التصادم تحفيز المجس الذي يحفز بدوره تفاعلًا كيميائيًا ينتج غازًا، مما يؤدي إلى انتفاخ الوسادة الهوائية بسرعة.

نظرية الدفع – الزخم والحفاظ على الحياة

يحدث تغير كبير في الزخم عندما يكون الدفع كبيرًا. وينتج الدفع الكبير إما عن قوة كبيرة تؤثر خلال فترة زمنية قصيرة، أو عن قوة صغيرة تؤثر خلال فترة زمنية طويلة، وقد روعيت هذه المفاهيم الفيزيائية عند تصميم أنظمة الأمان في السيارات الحديثة، ومن ذلك تزويدها بوسائد هوائية.

ماذا يحدث للسائق عندما تتوقف السيارة فجأة نتيجة تصادم؟ يساوي الزخم النهائي p_f في حالات التصادم صفرًا، أما الزخم الابتدائي p_i فلا يتأثر بوجود الوسادة الهوائية أو عدمه، وتبعًا لذلك يكون الدفع $F\Delta t$ هو نفسه في الحالتين؛ في وجود الوسادة وفي عدم وجودها. ما عمل الوسادة الهوائية؟ تعمل الوسادة الهوائية، كتلك المبينة في **الشكل 2 – 3** على توفير الدفع المطلوب، لكنها تقلل القوة عن طريق زيادة زمن تأثيرها، كما أنّها توزع تأثير القوة على مساحة أكبر من جسم الشخص، مما يقلّل من احتمال حدوث الإصابات.

الربط مع رؤية 2030

من أهداف الرؤية
٢.٣.٤ تعزيز السَّلامة المُرورِيَّة.

مثال 1

متوسط القوة تتحرك مركبة كتلتها 2200 kg بسرعة 94 km/h (26 m/s)، حيث يمكنها التوقف خلال 21 s، عن طريق الضغط على الكوابح برفق، ويمكن أن تتوقف المركبة خلال 3.8 s إذا ضغط السائق على الكوابح بشدة، بينما يمكن أن تتوقف خلال 0.22 s إذا اصطدمت بحائط أسمنتي. ما متوسط القوة المؤثرة في المركبة في كل حالة من حالات التوقف؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم النظام.
- اختر نظام إحداثيات وحدِّد الاتجاه الموجب ليكون في اتجاه السرعة المتجهة للسيارة.
- اعمل رسمًا تخطيطيًّا لمتجهات الزخم والدفع.

المعلوم		المجهول
$\Delta t_{\text{الضغط على الكوابح برفق}} = 21$ s	$m = 2200$ kg	$F_{\text{الضغط على الكوابح برفق}} = ?$
$\Delta t_{\text{الضغط على الكوابح بشدة}} = 3.8$ s	$v_i = +26$ m/s	$F_{\text{الضغط على الكوابح بشدة}} = ?$
$\Delta t_{\text{الاصطدام بحائط}} = 0.22$ s	$v_f = +0.0$ m/s	$F_{\text{الاصطدام بحائط}} = ?$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

2 إيجاد الكمية المجهولة

أولاً: نحسب الزخم الابتدائي p_i :

عوّض مستخدمًا $m = 2200\ kg$ ، $v_i = +26\ m/s$

$$p_i = mv_i$$
$$= (2200\ kg)(+26\ m/s)$$
$$= +5.7 \times 10^4\ kg.m/s$$

ثانيًا: نحسب الزخم النهائي، p_f :

عوّض مستخدمًا $m = 2200\ kg$ ، $v_f = +0.0\ m/s$

$$p_f = mv_f$$
$$= (2200\ kg)(+0.0\ m/s)$$
$$= 0.0\ kg.m/s$$

ثالثًا: نطبق نظرية الدفع – الزخم للحصول على القوة المطلوبة لإيقاف المركبة:

عوّض مستخدمًا $p_i = 5.7 \times 10^4\ kg.m/s$ ، $p_f = 0.0\ kg.m/s$

$$F\Delta t = p_f - p_i$$
$$= (+0.0\ kg.m/s) - (5.7 \times 10^4\ kg.m/s)$$
$$= -5.7 \times 10^4\ kg.m/s$$
$$F = \frac{-5.7 \times 10^4\ kg.m/s}{\Delta t}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية

204–205

عوّض مستخدمًا $\Delta t_{\text{الضغط على الكوابح برفق}} = 21\ s$.

$$F_{\text{الضغط على المكابح برفق}} = \frac{-5.7 \times 10^4\ kg.m/s}{21\ s}$$
$$= -2.7 \times 10^3\ N$$

عوّض مستخدمًا $\Delta t_{\text{الضغط على الكوابح بشدة}} = 3.8\ s$.

$$F_{\text{الضغط على المكابح بشدة}} = \frac{-5.7 \times 10^4\ kg.m/s}{3.8\ s}$$
$$= -1.5 \times 10^4\ N$$

عوّض مستخدمًا $\Delta t_{\text{الاصطدام بحائط}} = 0.22\ s$.

$$F_{\text{الاصطدام بحائط}} = \frac{-5.7 \times 10^4\ kg.m/s}{0.22\ s}$$
$$= -2.6 \times 10^5\ N$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس القوة بالنيوتن، وكان الجواب بالوحدة N نفسها.
- **هل للاتجاه معنى؟** تؤثر القوة في الاتجاه المعاكس لسرعة السيارة، لذا يكون اتجاه القوة في الاتجاه السالب.
- **هل الجواب منطقي؟** يزن الشخص عدة مئات نيوتن، لذا فمن المنطقي أن تكون القوة اللازمة لإيقاف سيارة عدة آلاف نيوتن، ولأن الدفع في عمليات الإيقاف الثلاثة هو نفسه؛ فكلما قلّ زمن التوقف أكثر من عشر مرات ازدادت القوة أكثر من عشر مرات.

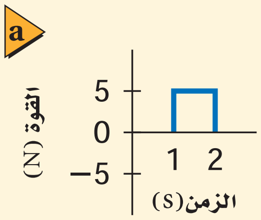
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسائل تدريبية

1. تتحرك سيارة صغيرة كتلتها 725 kg بسرعة 115 km /h في اتجاه الشرق. عبر عن حركة السيارة برسم تخطيطي.

a. احسب مقدار زخمها وحدد اتجاهه، وارسم سهمًا على الرسم التخطيطي يعبر عن الزخم.

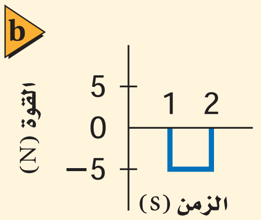
b. إذا امتلكت سيارة أخرى الزخم نفسه، وكانت كتلتها 2175 kg، فما سرعتها المتجهة؟



2. إذا ضغط السائق في السؤال السابق على الكوابح بشدة لإبطاء السيارة خلال 2.0 s. وكان متوسط القوة المؤثرة في السيارة لإبطائها يساوي 5.0×10^3 N،

a. ما التغير في زخم السيارة؟ ما مقدار واتجاه الدفع على السيارة؟

b. أكمل الرسمين لما قبل الضغط على الكوابح وبعده، ثمّ حدّد الزخم والسرعة المتجهة للسيارة بعد الانتهاء من الضغط على الكوابح.



■ الشكل 3–3

3. تتدحرج كرة بولنج كتلتها 7.0 kg على ممر الانزلاق بسرعة متجهة مقدارها 2.0 m /s. احسب سرعة الكرة، واتجاه حركتها بعد تأثير كل دفع من الدفعين المبينين في **الشكلين 3a–3 و3b – 3**.

4. سرّع سائق عربة ثلج كتلتها 240.0 kg، وذلك بالتأثير بقوة أدت إلى زيادة سرعتها من 6.0 m /s إلى 28.0 m /s خلال فترة زمنية مقدارها 60.0 s.

a. ارسم مخططًا يمثل الوضعين الابتدائي والنهائي للعربة.

b. ما التغير في زخم العربة؟ وما الدفع على العربة؟

c. ما مقدار متوسط القوة التي أثرت في العربة؟

5. افترض أنَّ شخصًا كتلته 60.0 kg موجود في المركبة التي اصطدمت بالحائط الأسمنتي في المثال 1، حيث السرعة المتجهة للشخص مساوية للسرعة المتجهة للمركبة قبل التصادم وبعده، وتغيرت هذه السرعة المتجهة خلال 0.2 s. ارسم مخططًا يمثل المسألة.

a. ما متوسط القوة المؤثرة في الشخص؟

b. يعتقد بعض الأشخاص أنّ بإمكانهم أن يوقفوا اندفاع أجسامهم إلى الأمام في مركبة ما عندما تتوقف فجأة، وذلك بوضع أيديهم على لوحة العدادات. احسب كتلة جسم وزنه يساوي القوة التي حسبتها في الفرع **a**. وهل تستطيع رفع مثل هذه الكتلة؟ وهل أنت قويّ بدرجة كافية لتوقف جسمك باستخدام ذراعيك؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مراجعة 1–3

6. الزخم هل يختلف زخم سيارة تتحرك جنوبًا عن زخم السيارة نفسها عندما تتحرك شمالاً، إذا كان مقدار السرعة في الحالتين متساويًا؟ ارسم متجهات الزخم لتدعم إجابتك.

7. الدفع والزخم عندما تقفز من ارتفاع معين إلى الأرض فإنك تثني رجليك لحظة ملامسة قدميك الأرض. بيّن لماذا تفعل هذا اعتمادًا على المفاهيم الفيزيائية التي تعلمتها في هذا الفصل.

8. الزخم أيّهما له زخم أكبر، ناقلة نفط راسية بثبات في رصيف ميناء، أم قطرة مطر ساقطة؟

9. الدفع والزخم قذفت كرة بيسبول كتلتها 0.174 kg أفقيًّا بسرعة 26.0 m/s. وبعد أن ضُربت الكرة بالمضرب تحركت في الاتجاه المعاكس بسرعة 38.0 m/s.

a. ارسم متجهات الزخم للكرة قبل ضربها بالمضرب وبعده.

b. ما التغير في زخم الكرة؟

c. ما الدفع الناتج عن المضرب؟

d. إذا بقي المضرب متصلاً بالكرة مدة 0.80 ms فما متوسط القوة التي أثر بها المضرب في الكرة؟

10. الزخم إن مقدار سرعة كرة السلة لحظة اصطدامها بالأرض هو نفسه بعد التصادم مباشرة. هل يعني ذلك أن التغير في زخم الكرة يساوي صفرًا عند اصطدامها بالأرض؟ إذا كان الجواب بالنفي ففي أيّ اتجاه يكون التغير في الزخم؟ ارسم متجهات الزخم لكرة السلة قبل أن تصطدم بالأرض وبعده.

11. التفكير الناقد يصوّب رام سهامه في اتجاه هدف، فتنغرز بعض السهام في الهدف، ويرتد بعضها الآخر عنه. افترض أن كتل السهام وسرعاتها المتجهة متساوية، فأيّ السهام ينتج دفعًا أكبر على الهدف؟ *تلميح: ارسم مخططًا تبيّن فيه زخم السهام قبل إصابة الهدف وبعدها في الحالتين.*

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

3–2 حفظ الزخم Conservation of Momentum

◄ **الأهداف**
- **تربط** بين القانون الثالث لنيوتن وحفظ الزخم.
- **تعرّف** الظروف اللازمة لحفظ الزخم.
- **تحل** مسائل حفظ الزخم.

◄ **المفردات**
النظام المغلق
النظام المعزول
قانون حفظ الزخم

لقد درست في الدرس الأول من هذا الفصل، كيف تغير القوة المؤثرة في فترة زمنية زخمَ كرة بيسبول. ولقد تعلمت من القانون الثالث لنيوتن أنّ القوى هي نتيجة للتفاعلات بين جسمين؛ فعندما يؤثر المضرب في الكرة بقوة فإنّ الكرة تؤثر في المضرب بمقدار القوة نفسه ولكن في الاتجاه المعاكس. فهل يتغير زخم المضرب؟

تصادم جسمين Two - Particle Collisions

عندما يضرب اللاعب كرة البيسبول فإنّ المضرب ويد اللاعب وذراعيه والأرض التي يقف عليها تتفاعل معًا، لذا لا يمكن اعتبار المضرب جسمًا منفصلاً. لتيسير دراسة التصادم يمكن أن نتفحص نظامًا أبسط، مقارنة بالنظام المركب السابق، كالتصادم بين كرتين. انظر **الشكل 4–3** .

إن كل كرة تؤثر في الأخرى بقوة في أثناء عملية تصادم الكرتين معًا، وإن القوتين اللتين تؤثر بهما كلّ كرة في الأخرى متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه، على الرغم من اختلاف حجمي الكرتين وسرعتيهما المتجهتين؛ وذلك استنادًا إلى القانون الثالث لنيوتن في الحركة، وتُمثل هاتان القوتان بالمعادلة الآتية: $\boldsymbol{F}_{\text{C في D}} = -\boldsymbol{F}_{\text{D في C}}$.

ما العلاقة بين الدفعين اللذين تبادلت الكرتان التأثير بهما؟ بما أنّ القوتين أثرتا خلال الفترة الزمنية نفسها فإنّ دفعَي الكرتين يجب أن يكونا متساويين في المقدار ومتعاكسين في الاتجاه. كيف تغير زخم الكرتين نتيجة للتصادم؟

استنادًا إلى نظرية الدفع–الزخم فإنّ التغير في الزخم يساوي الدفع، وتبعًا لذلك فإن التغير في الزخم لكل من الكرتين كالآتي:

للكرة C: $p_{Cf} - p_{Ci} = \boldsymbol{F}_{\text{C في D}}\,\Delta t$

وللكرة D: $p_{Df} - p_{Di} = \boldsymbol{F}_{\text{D في C}}\,\Delta t$

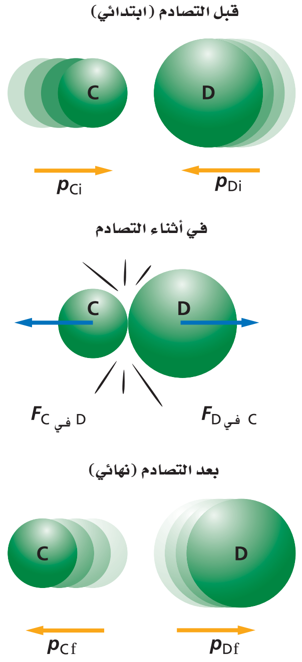
والآن نقارن بين التغير في الزخم لكل من الكرتين؛ حيث إن الفترة الزمنية التي تؤثر خلالها القوتان هي نفسها، كما أن $\boldsymbol{F}_{\text{D في C}} = -\boldsymbol{F}_{\text{C في D}}$ وفقًا للقانون الثالث لنيوتن في الحركة، فإنّ دفعَي الكرتين متساويان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه. وتبعًا لذلك فإن:

$$p_{Cf} - p_{Ci} = -(p_{Df} - p_{Di})$$

وبإعادة ترتيب المعادلة نحصل على الآتي:

$$p_{Cf} + p_{Df} = p_{Ci} + p_{Di}$$

وتشير هذه المعادلة إلى أنّ مجموع زخم الكرتين قبل التصادم يساوي مجموع زخميهما بعد التصادم. وهذا يعني أنّ الزخم المكتسب من الكرة D يساوي الزخم المفقود من الكرة C. فإذا كان النظام يتكوّن من الكرتين فإنّ زخم النظام يكون ثابتًا أو محفوظًا.



■ **الشكل 4–3** عندما تصطدم كرتان فإن كلًا منهما تؤثر في الأخرى بقوة مما يؤدي إلى تغير زخميهما.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الزخم في نظام مغلق معزول

Momentum in a Closed, Isolated System

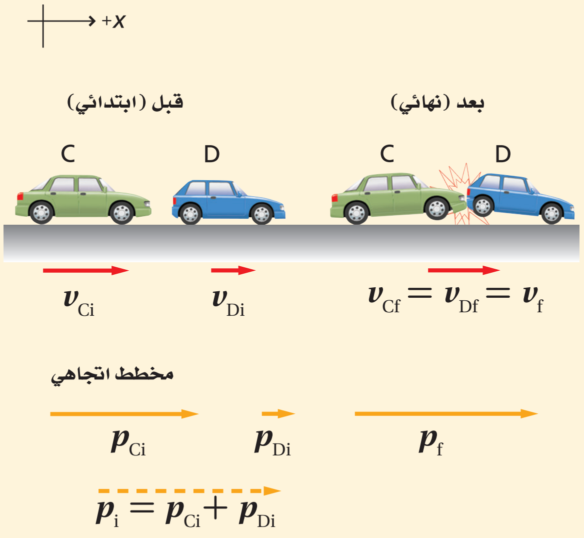
مـا الشروط التي يكون عندها زخم النظام المكون مـن كرتين محفوظًا؟ إنّ الشرط الأول والأكثر وضوحًا هو عدم فقدان النظام أو اكتسابه كتلة. ويُسمى النظام الذي لا يكتسب كتلة ولا يفقدها **بالنظام المغلق**. أما الـشرط الثاني لحفظ الزخم في أيّ نظام فهـو أن تكون القوى المؤثرة فيه قوى داخلية؛ أي لا تؤثر في النظام قوى من أجسام موجودة خارجه.

يوصف النظام المغلق بأنه **نظام معزول** عندما تكون محصلة القوى الخارجية عليه تساوي صفرًا. ولا يوجد على سطح الكرة الأرضية نظام يمكن وصفه بأنّه معزول تمامًا؛ بسبب وجود تفاعلات بين النظام ومحيطه. وغالبًا ما تكون هذه التفاعلات صغيرة جدًّا، بحيث يمكن إهمالها عند حل المسائل الفيزيائية.

يمكن للأنظمة أن تحتوي على أيّ عدد من الأجسام، وهذه الأجسـام يمكن أن يلتحم (يلتصق) بعضها ببعـض أو تتفكك عند التصادم. وينص **قانون حفظ الزخم** على أن زخم أي نظام مغلق ومعزول لا يتغير. وسـيجعلك هذا القانون قادرًا على الربط بين ظروف النظام قبل التفاعـل وبعده، دون الحاجة إلى معرفة تفاصيل هذا التفاعل.

مثـــال 2

السرعة تحركت سيارة كتلتها 1875 kg بسرعة 23 m/s ، فاصطدمت بمؤخرة سيارة صغيرة كتلتها 1025 kg تسير على الجليد بسرعة 17 m/s في الاتجاه نفسه، فالتحمت السيارتان إحداهما بالأخرى. ما السرعة التي تتحرك بها السيارتان معًا بعد التصادم مباشرة؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- تعريف النظام
- بناء نظام إحداثيات
- رسم تخطيطي يمثل حالتي السيارتين قبل التصادم وبعده.
- رسم تخطيطي لمتجهات الزخم.

المعلوم	المجهول
$m_C = 1875\ \text{kg}$	$v_f = ?$
$v_{Ci} = +23\ \text{m/s}$	
$m_D = 1025\ \text{kg}$	
$v_{Di} = +17\ \text{m/s}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

الزخم محفوظ لأنّ الأرضية الملساء (الجليد) تجعل القوة الخارجية الكلية على السيارتين صفرًا تقريبًا. $p_i = p_f$

$$p_{Ci} + p_{Di} = p_{Cf} + p_{Df}$$

$$m_C v_{Ci} + m_D v_{Di} = m_C v_{Cf} + m_D v_{Df}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

بما أن السيارتين التحمتا معًا فإن لهما السرعة المتجهة نفسها بعد التصادم (v_f).

$$v_{Cf} = v_{Df} = v_f$$

$$m_C v_{Ci} + m_D v_{Di} = (m_C + m_D) v_f$$

دليل الرياضيات

ترتيب العمليات 213

نعيد ترتيب المعادلة لنحسب v_f.

عوّض مستخدمًا $m_C = 187\ \text{kg}$، $v_{Di} = +17\text{m/s}$

$m_D = 1025\ \text{kg}$، $v_{ci} = +23\ \text{m/s}$

$$v_f = \frac{(m_C v_{Ci} + m_D v_{Di})}{(m_C + m_D)}$$

$$= \frac{(1875\ \text{kg})(+23\ \text{m/s}) + (1025\ \text{kg})(+17\ \text{m/s})}{(1875\ \text{kg} + 1025\ \text{kg})}$$

$$= +21\ \text{m/s}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس السرعة بـ m /s ، وكان الجواب بهذه الوحدات نفسها.
- **هل للاتجاه معنى؟** v_i و v_f ، في الاتجاه الموجب، لذا يجب أن تكون قيمة v_f موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** إنّ مقدار السرعة النهائية v_f يقع بين سرعة كل من السيارتين قبل التصادم، ولكنه أقرب إلى سرعة السيارة الكبيرة، وهذا منطقي.

مسائل تدريبية

12. اصطدمت سيارتا شحن كتلة كل منهما $3.0 \times 10^5\ \text{kg}$، فالتصقتا معًا، فإذا كانت سرعة إحداهما قبل التصادم مباشرة 2.2 m /s، وكانت الأخرى ساكنة، فما سرعتهما النهائية؟

13. يتحرك قرص لعبة هوكي كتلته 0.105 kg بسرعة 24 m /s ، فيمسك به حارس مرمى كتلته 75 kg في حالة سكون. ما السرعة التي ينزلق بها حارس المرمى على الجليد؟

14. اصطدمت رصاصة كتلتها 35.0 g بقطعة خشب ساكنة كتلتها 5.0 kg، فاستقرت فيها، فإذا تحركت قطعة الخشب والرصاصة معًا بسرعة 8.6 m /s فما السرعة الابتدائية للرصاصة قبل التصادم؟

15. تحركت رصاصة كتلتها 35.0 g بسرعة 475 m /s ، فاصطدمت بكيس من الطحين كتلته 2.5 kg موضوع على أرضية ملساء في حالة سكون، فاخترقت الرصاصة الكيس، انظر إلى **الشكل 5–3**، وخرجت منه بسرعة 275 m / s. ما سرعة الكيس لحظة خروج الرصاصة منه؟

الشكل 5 – 3

16. إذا اصطدمت الرصاصة المذكورة في السؤال السابق بكرة فولاذية كتلتها 2.5 kg في حالة سكون، فارتدت الرصاصة عنها بسرعة مقدارها 5.0 m /s ، فكم تكون سرعة الكرة بعد ارتداد الرصاصة؟

17. تحركت كرة كتلتها 0.50 kg بسرعة 6.0 m /s، فاصطدمت بكرة أخرى كتلتها 1.00 kg تتدحرج في الاتجاه المعاكس بسرعة مقدارها 12.0 m /s. فإذا ارتدت الكرة الأقل كتلة إلى الخلف بسرعة مقدارها 14 m /s بعد التصادم فكم يكون مقدار سرعة الكرة الأخرى بعد التصادم؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الارتداد Recoil

من المهم جدًّا تعريف أيّ نظام بدقة، فمثلاً يتغير زخم كرة بيسبول عندما تؤثر قوة خارجية ناتجة عن المضرب فيها. وهذا يعني أن كرة البيسبول ليست نظامًا معزولاً. من جهة أخرى فإن الزخم الكلي لكرتين متصادمتين ضمن نظام معزول لا يتغير؛ لأنّ جميع القوى تكون بين الأجسام الموجودة داخل النظام. هل تستطيع إيجاد السرعات المتجهة النهائية للمتزلجين الموجودين في **الشكل 6 – 3**؟ افترض أنهما يتزلجان على سطح ناعم، دون وجود قوى خارجية، وأنهما انطلقا من السكون، وكان أحدهما خلف الآخر.

دفع المتزلجُ C "الصبي الأكبر"، المتزلجَ D "الصبي الأصغر"، فتحركا في اتجاهين متعاكسين، ولأن قوة الدفع قوة داخلية، فإنه يمكن استخدام قانون حفظ الزخم لإيجاد السرعات النسبية للمتزلجين. كان الزخم الكلي للنظام قبل الدفع يساوي صفرًا، لذا يجب أن يكون الزخم الكلي صفرًا بعد الدفع أيضًا.

بعد   **قبل**

$$p_{Cf} + p_{Df} = p_{Ci} + p_{Di}$$
$$p_{Cf} + p_{Df} = 0$$
$$p_{Df} = -p_{Cf}$$
$$m_D v_{Df} = -m_C v_{Cf}$$

تم اختيار نظام الإحداثيات ليكون الاتجاه الموجب إلى اليمين. يكون زخما المتزلجين بعد الدفع متساويين في المقدار ومتعاكسين في الاتجاه. ويعد رجوع المتزلج C إلى الخلف بعد الدفع مثالًا على حالة الارتداد. فهل تكون السرعتان المتجهتان للمتزلجين متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه أيضًا؟

يمكن إعادة كتابة المعادلة الأخيرة أعلاه، لإيجاد السرعة المتجهة للمتزلج C، على النحو الآتي:

$$v_{Cf} = \left(\frac{m_D}{-m_C}\right) v_{Df}$$

لذا فإن السرعتين المتجهتين تعتمدان على نسبة كتلتي المتزلجين إحداهما إلى الأخرى. فمثلاً إذا كانت كتلة المتزلج C 68.0 kg وكتلة المتزلج D 45.4 kg، كانت نسبة السرعتين المتجهتين لهما 45.4: 68.0، أو 1.50، لذا فإنّ المتزلج الذي كتلته أقل يتحرك بسرعة متجهة أكبر. ولا يمكنك حساب السرعة المتجهة لكلا المتزلجين إذا لم يكن لديك معلومات عن مقدار قوة دفع المتزلج C للمتزلج D.

الشكل 6–3 القوى الداخلية المؤثرة بواسطة المتزلج C "الصبي الأكبر"، والمتزلج D "الصبي الأصغر" لا تستطيع أن تغير الزخم الكلي للنظام.

تجربة

ارتفاع الارتداد

زخم أيّ جسم يساوي حاصل ضرب كتلته في سرعته المتجهة.

1. أسقط كرة مطاطية كبيرة عن ارتفاع 15 cm فوق طاولة.
2. سجل ارتفاع ارتداد الكرة.
3. أعد الخطوتين 1 و 2 مستخدمًا كرة مطاطية صغيرة.
4. ارفع الكرة الصغيرة وضعها فوق الكرة الكبيرة على أن تكونا متلامستين معًا.
5. اترك الكرتين لتسقطا معًا من الارتفاع نفسه.
6. قس ارتفاع ارتداد كلتا الكرتين.

التحليل والاستنتاج

7. صف ارتفاع ارتداد كل من الكرتين عندما تسقط كل كرة على حدة.
8. قارن بين ارتفاعات الارتداد في الخطوتين 6 و7.
9. فسّر ملاحظاتك.

تجربة عملية

هل الزخم محفوظ؟

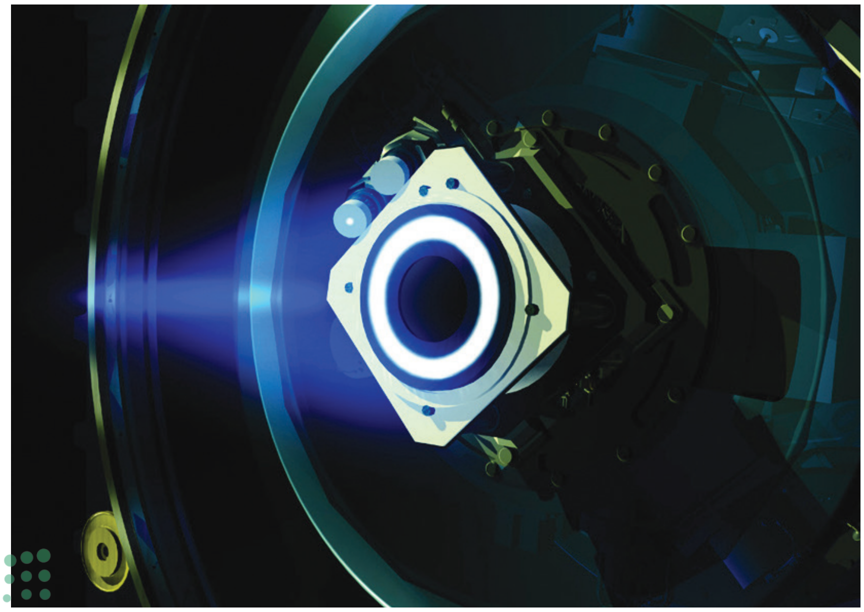
ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الدفع في الفضاء Propulsion in Space

كيف تتغير السرعة المتجهة للصاروخ في الفضاء؟ يُزوَّد الصاروخ بالوقود والمادة المؤكسدة، وعندما يمتزجان معًا في محرك الصاروخ تنتج غازات حارة بسبب الاحتراق، وتخرج من فوهة العادم بسرعة كبيرة. فإذا كان الصاروخ والموادّ الكيميائية هما النظام، فإن النظام يكون مغلقًا. وتكون القوى التي تنفث الغازات قوى داخلية، لذا يكون النظام معزولاً أيضًا. ولذلك فإنّ الأجسام الموجودة في الفضاء يمكنها أن تتسارع، وذلك باستخدام قانون حفظ الزخم وقانون نيوتن الثالث في الحركة.

تمكن مسبار ناسا الفضائي، والمسمى "Deep Space 1" من المرور بأحد الكويكبات منذ بضعة سنوات، وذلك بفضل استخدام تقنية حديثة فيه، تتمثل في "محرك أيوني"يؤثر بقوة مماثلة للقوة الناتجة عن ورقة مستقرة على يد شخص. يبين **الشكل 7–3** المحرك الأيوني، الذي يعمل بشكل مختلف عن المحرك التقليدي للصاروخ؛ والذي فيه تندفع نواتج التفاعل الكيميائي– التي تحدث داخل حجرة الاحتراق –بسرعة عالية من الجزء الخلفي من الصاروخ. أما في المحرك الأيوني فإنّ ذرات الزينون تنطلق بسرعة مقدارها 30 km /s، مولِّدة قوة مقدارها 0.092 N فقط. ولكن كيف يمكن لمثل هذه القوة الصغيرة أن تنتج تغيرًا كبيرًا في زخم المسبار؟ على عكس الصواريخ الكيميائية التقليدية والتي يعمل محركها لدقائق قليلة فقط، فإنّ المحرك الأيوني في المسبار يمكن أن يعمل أيامًا، أو أسابيع أو حتى أشهرًا؛ لذا فإنّ الدفع الذي يوفِّره المحرك يكون كبيرًا بدرجة كافية تسمح بزيادة زخم المركبة الفضائية التي كتلتها 490 kg حتى تصل إلى السرعة المطلوبة لإنجاز مهمتها.



الشكل 7–3 تتأين ذرات الزينون الموجودة في المحرك الأيوني عن طريق قذفها بالإلكترونات، ثم تسرع أيونات الزينون الموجبة إلى سرعات عالية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

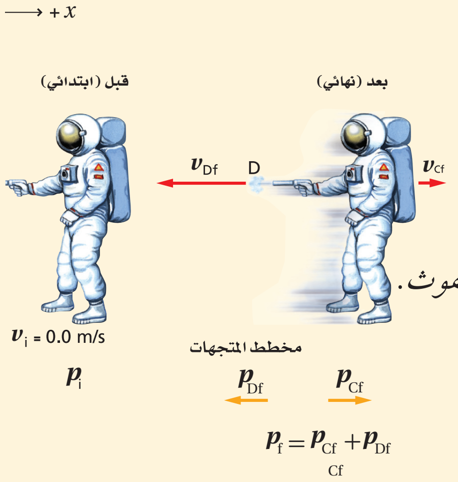
مثـــــال 3

السرعة أطلق رائد فضاء في حالة سكون غازًا من مسدس دفع، ينفث 35 g من الغاز الساخن بسرعة 875 m/s ، فإذا كانت كتلة رائد الفضاء والمسدس معًا 84 kg، فما مقدار سرعة رائد الفضاء؟ وفي أيّ اتجاه يتحرك بعد أن يطلق الغاز من المسدس؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- تعريف النظام
- بناء محور إحداثيات
- رسم الظروف " قبل " و"بعد"
- رسم مخطط يبين متجهات الزخم.

ملاحظة: *يشير الحرف C إلى رائد الفضاء والمسدس معًا، والحرف D إلى الغاز المنفوث.*



المعلوم	المجهول
$m_C = 84\ \text{kg}$ ، $m_D = 0.035\ \text{kg}$	$v_{Cf} = ?$
$v_{Ci} = v_{Di} = +0.0\ \text{m/s}$	
$v_{Df} = -875\ \text{m/s}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

يتكون النظام من رائد الفضاء والمسدس والمواد الكيميائية التي أنتجت الغاز.

قبل أن يطلق المسدس الغاز، كانت جميع أجزاء النظام في حالة سكون، لذا يكون الزخم الابتدائي صفرًا.

$$p_i = p_{Ci} + p_{Di} = +0.0\ \text{kg.m/s}$$

نستخدم قانون حفظ الزخم لإيجاد p_f

$$p_i = p_f$$

زخم رائد الفضاء والمسدس معًا يساوي زخم الغاز المنطلق من المسدس في المقدار ويعاكسه في الاتجاه.

$$+0.0\ \text{kg.m/s} = p_{Cf} + p_{Df}$$

$$p_{Cf} = -p_{Df}$$

نحل لإيجاد السرعة المتجهة النهائية للرائد، v_{Cf}.

دليل الرياضيات
فصل المتغير 215

$$m_C v_{Cf} = -m_D v_{Df}$$

$$v_{Cf} = \left(\frac{-m_D v_{Df}}{m_C}\right)$$

عوّض مستخدمًا $m_C = 84\ \text{kg}$ ، $v_{Df} = -875\ \text{m/s}$ ، $m_D = 0.035\ \text{kg}$

$$= \frac{(-0.035\ \text{kg})(-875\ \text{m/s})}{84\ \text{kg}} = +0.36\ \text{m/s}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس السرعة بـ m/s ، والجواب بوحدة m/s.
- **هل للاتجاه معنى؟** سرعة الرائد المتجهة في الاتجاه المعاكس لاتجاه انبعاث الغاز.
- **هل الجواب منطقي؟** كتلة الرائد أكبر كثيرًا من كتلة الغاز المنبعث؛ لذا من المنطقي أن تكون سرعة الرائد المتجهة أقل بكثير من سرعة الغاز المتجهة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسائل تدريبية

.18 أطلق نموذج لصاروخ كتلته 4.00 kg، بحيث نفث 50.0 g من الوقود المحترق من العادم بسرعة مقدارها 625 m /s، ما سرعة الصاروخ المتجهة بعد احتراق الوقود؟ تلميح: أهمل القوتين الخارجيتين الناتجتين عن الجاذبية ومقاومة الهواء.

.19 ترتبط عربتان إحداهما مع الأخرى بخيط يمنعهما من الحركة، ولدى احتراق الخيط دفع نابض مضغوط بينهما العربتين في اتجاهين متعاكسين، فإذا اندفعت إحدى العربتين وكتلتها 1.5 kg بسرعة متجهة 27 cm /s إلى اليسار، فما السرعة المتجهة للعربة الأخرى التي كتلتها 4.5 kg؟

.20 قامت صفاء وديمة بإرساء زورق، فإذا تحركت صفاء التي كتلتها 80.0 kg إلى الأمام بسرعة 4.0 m /s عند مغادرة الزورق، فما مقدار واتجاه سرعة الزورق وديمة إذا كانت كتلتاهما معًا تساوي 115 kg؟

التصادم في بعدين Two- Dimensional Collisions

لقد درست الزخم في بعد واحد فقط، ولكن يجب أن تعلم أن قانون حفظ الزخم يطبق على جميع الأنظمة المغلقة التي لا تؤثر فيها قوى خارجية، بغض النظر عن اتجاهات حركة الأجسام قبل تصادمها وبعده. ولكن ما الذي يحدث عندما تتصادم الأجســام في بعدين أو ثلاثة؟ يبين **الشــكل 8–3** ما يحدث عندما تصطدم كرة البلياردو C بالكرة D التي كانت في حالة سكون. افترض أنّ كرتي البلياردو هما النظام، فيكون الزخم الابتدائي للكرة المتحركة $\boldsymbol{p}_{\mathrm{Ci}}$، وللكرة الثابتة صفرًا؛ لذا يكون زخم النظام قبل التصادم $\boldsymbol{p}_{\mathrm{Ci}}$.

تتحرك الكرتان بعد التصادم، وتمتلكان زخمًــا، وإذا أُهمل الاحتكاك مع الطاولة، فيكون النظام معزولاً ومغلقًا؛ لذا يمكن استخدام قانون حفظ الزخم (الزخم الابتدائي يساوي المجموع المتجه للزخم النهائي) أيْ أن:

$$\boldsymbol{p}_{\mathrm{Ci}} = \boldsymbol{p}_{\mathrm{Cf}} + \boldsymbol{p}_{\mathrm{Df}}$$

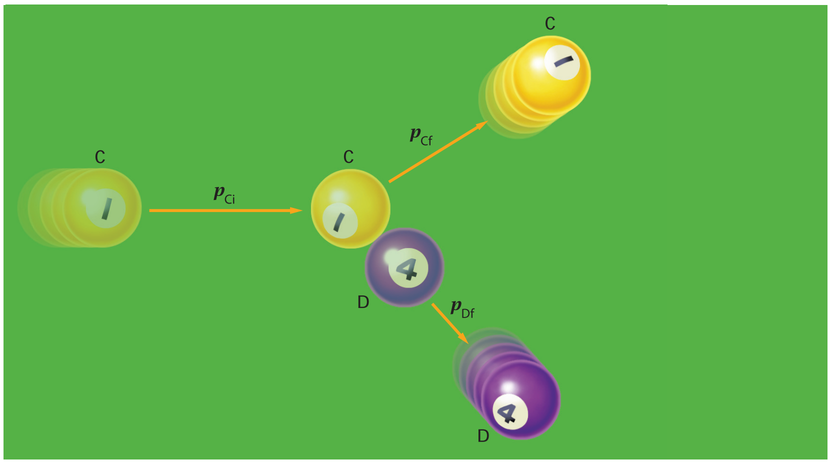
وتَسَاوي الزخم قبل التصادم وبعده يعني أنّ مجموع مركبات المتجهات قبل التصادم وبعده يجب أن يكون متســاويًا. وإذا كان الإحداثي الأفقي (x) في اتجاه الزخم الابتدائي، تكون المركبة الرأســية (y) للزخم الابتدائي تســاوي صفرًا. ويجب أن يساوي مجموع المركبات الرأسية (y) النهائية للزخم صفرًا أيضًا.

$$\boldsymbol{p}_{\mathrm{Cf,y}} + \boldsymbol{p}_{\mathrm{Df,y}} = 0$$

تكون المركبتان الرأسيتان متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه، وتبعا لذلك لابد أن تكون إشــارتاهما مختلفتين. أمّا مجموع المركبات الأفقية للزخم فيساوي:

$$\boldsymbol{p}_{\mathrm{Ci}} = \boldsymbol{p}_{\mathrm{Cf,x}} + \boldsymbol{p}_{\mathrm{Df,x}}$$

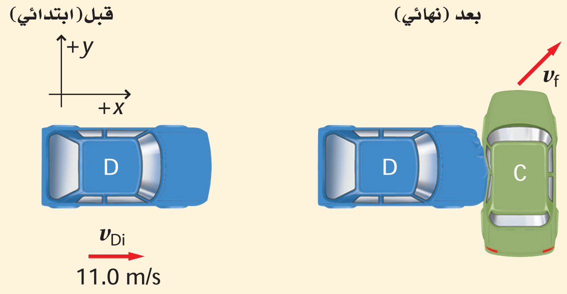
■ **الشكل 8–3** يطبق قانون حفظ الزخم على جميع الأنظمة المعزولة والمغلقة، بغض النظر عن اتجاهات حركة الأجسام قبل التصادم وبعده.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

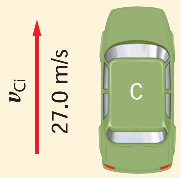
◀ مثـــــال 4

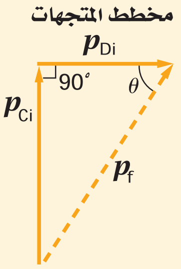
السرعة تحركت السيارة C شمالاً بسرعة 27 m/s ، فاصطدمت بالسيارة D التي كانت تتحرك شرقًا بسرعة 11.0 m/s، فسارت السيارتان وهما متصلتان معًا بعد التصادم. فإذا كانت كتلة السيارة C (1325 kg) ، وكتلة السيارة D (2165 kg) ، فما مقدار سرعتها واتجاهها بعد التصادم؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- تعريف النظام
- رسم الحالتين قبل التصادم وبعده
- بناء محاور الإحداثيات، بحيث يمثل المحور الرأسي (y) الشمال، والمحور الأفقي (x) الشرق.
- رسم مخطط لمتجهات الزخم.





المعلوم	المجهول
$m_C = 1325\ kg$	$v_{f,x} = ?$
$m_D = 2165\ kg$	$v_{f,y} = ?$
$v_{Ci,y} = 27.0\ m/s$	$\theta = ?$
$v_{Di,x} = 11.0\ m/s$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

حدد الزخم الابتدائي للسيارتين، وزخم النظام.

$$p_{Ci} = m_C\, v_{Ci,y}$$
$$= (1325\ kg)(27.0\ m/s)$$
$$= 3.58 \times 10^4\ kg.m/s\ (\text{شمالاً})$$

عوّض مستخدمًا $m_C = 1325\ kg$ ، $v_{Ci,y} = 27.0\ m/s$

$$p_{Di} = m_D\, v_{Di,x}$$
$$= (2165\ kg)(11.0\ m/s)$$
$$= 2.38 \times 10^4\ kg.m/s\ (\text{شرقًا})$$

عوّض مستخدمًا $m_D = 2165\ kg$ ، $v_{Di,y} = 11.0\ m/s$

نستخدم قانون حفظ الزخم لإيجاد p_f

$$p_{f,x} = p_{i,x} = 2.38 \times 10^4\ kg.m/s$$

عوّض مستخدمًا $p_{i,x} = p_{Di} = 2.38 \times 10^4\ kg.m/s$

$$p_{f,y} = p_{i,y} = 3.58 \times 10^4\ kg.m/s$$

عوّض مستخدمًا $p_{i,y} = p_{Ci} = 3.58 \times 10^4\ kg.m/s$

نستخدم المخطط لصياغة المعادلات لـ $p_{f,x}$ و $p_{f,y}$

$$p_f = \sqrt{(p_{f,x})^2 + (p_{f,y})^2}$$

عوّض مستخدمًا $p_{f,y} = 3.58 \times 10^4\ kg.m/s$ ، $p_{f,x} = 2.38 \times 10^4\ kg.m/s$

$$= \sqrt{(2.38 \times 10^4\ kg.m/s)^2 + (3.58 \times 10^4\ kg.m/s)^2}$$
$$= 4.30 \times 10^4\ kg.m/s$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

نحل لإيجاد θ:

عوّض مستخدمًا $p_{f,y} = 3.58 \times 10^4\ kg.m/s$

$p_{f,x} = 2.38 \times 10^4\ kg.m/s$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{p_{f,y}}{p_{f,x}}\right)$$
$$= \tan^{-1}\left(\frac{3.58 \times 10^4\ kg.m/s}{2.38 \times 10^4\ kg.m/s}\right)$$
$$= 56.4^\circ$$

نحدد مقدار السرعة النهائية:

عوّض مستخدمًا $p_f = 4.3 \times 10^4\ kg.m/s$

$m_C = 1325\ kg$ ،$m_D = 2165\ kg$

$$v_f = \frac{p_f}{(m_c + m_d)}$$
$$= \frac{4.30 \times 10^4\ kg.m/s}{(1325\ kg + 2165\ kg)}$$
$$= 12.3\ m/s$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس السرعة بـ m/s وكذلك كانت وحدات السرعة في الإجابة.
- **هل للإشارات معنى؟** الإجابتان موجبتان والزوايا كذلك مناسبة.
- **هل الجواب منطقي؟** بما أن السيارتين التحمتا معًا فإنه يجب أن تكون v_f أصغر من v_{Ci}.

مسائل تدريبية

21. تحركت سيارة كتلتها 925 kg شمالاً بسرعة 20.1 m/s، فاصطدمت بسيارة كتلتها 1865 kg متحركة غربًا بسرعة 13.4 m/s، فالتحمتا معًا. ما مقدار سرعتهما واتجاههما بعد التصادم؟

22. اصطدمت سيارة كتلتها 1732 kg متحركة شرقًا بسرعة 31.3 m/s ، بسيارة أخرى كتلتها 1383 kg متحركة جنوبًا بسرعة 11.2 m/s، فالتحمتا معًا. ما مقدار سرعتهما واتجاههما مباشرة بعد التصادم؟

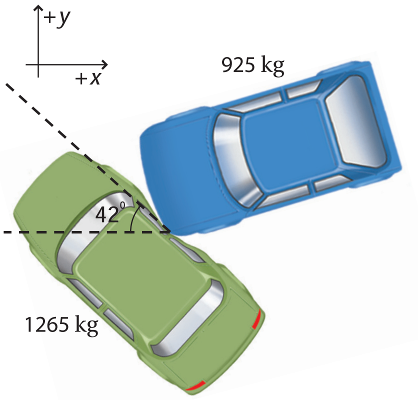
23. تعرضت كرة بلياردو ساكنة كتلتها 0.17 kg للاصطدام بكرة مماثلة لها متحركة بسرعة 4.0 m/s، فتحركت الكرة الثانية بعد التصادم في اتجاه يميل 60.0° إلى يسار اتجاهها الأصلي، في حين تحركت الكرة الأولى في اتجاه يميل 30° إلى يمين الاتجاه الأصلي للكرة المتحركة. ما سرعة كل من الكرتين بعد التصادم؟

24. تحركت سيارة كتلتها 1923 kg شمالاً، فاصطدمت بسيارة أخرى كتلتها 1345 kg متحركة شرقًا بسرعة 15.7 m/s، فالتحمتا معًا وتحركتا بسرعة مقدارها 14.5 m/s وتميل على الشرق بزاوية مقدارها 63.5°. فهل كانت السيارة المتحركة شمالاً متجاوزة حدّ السرعة 20.1 m/s قبل التصادم؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسألة تحفيز

كان صديقك يقود سيارة كتلتها 1265 kg في اتجاه الشمال، فصدمته سيارة كتلتها 925 kg متجهة غربًا، فالتحمتا معًا، وانزلقتا 23.1 m في اتجاه يصنع زاوية 42° شمال الغرب. وكانت السرعة القصوى المسموح بها في تلك المنطقة 22 m/s. افترض أنّ الزخم كان محفوظًا خلال التصادم، وأنّ التسارع كان ثابتًا في أثناء الانزلاق، ومعامل الاحتكاك الحركي بين الإطارات والأسفلت 0.65.



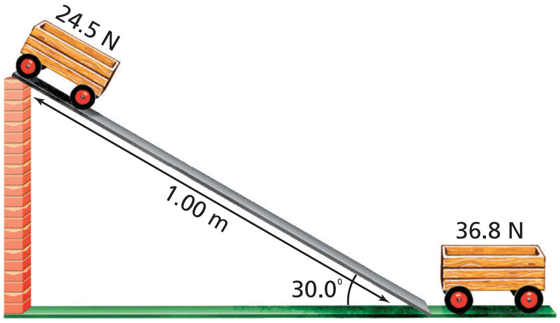
1. ادّعى صديقك أنه لم يكن مسرعًا، لكن السائق الآخر كان مسرعًا. كم كانت سرعة سيارة صديقك قبل التصادم؟

2. كم كانت سرعة السيارة الأخرى قبل التصادم؟ وهل يمكنك أن تدعم ادعاء صديقك؟

2–3 مراجعة

25. **السرعة** تحركت عربة وزنها 24.5 N من السكون على مستوى طوله 1.0 m ويميل على الأفق بزاوية 30.0°. انظر إلى **الشكل 9–3**. اندفعت العربة إلى نهاية المستوى المائل، فصدمت عربة أخرى وزنها 36.8 N موضوعة عند أسفل المستوى المائل.

a. احسب مقدار سرعة العربة الأولى عند أسفل المستوى المائل.



الشكل 9 – 3

b. إذا التحمت العربتان معًا فما سرعة انطلاقهما بعد التصادم؟

26. **حفظ الزخم** يستمرّ مضرب لاعب كرة التنس في التقدم إلى الأمام بعد ضرب الكرة، فهل يكون الزخم محفوظًا في التصادم؟ فسّر ذلك، وتنبه إلى أهمية تعريف النظام.

27. **الزخم** يركض لاعب القفز بالزانة في اتجاه نقطة الانطلاق بزخم أفقي. من أين يأتي الزخم الرأسي عندما يقفز اللاعب فوق العارضة؟

28. **الزخم الابتدائي** ركض لاعبان في مباراة كرة قدم من اتجاهين مختلفين، فاصطدما وجهًا لوجه عندما حاولا ضرب الكرة برأسيهما، فاستقرّا في الجو، ثم سقطا على الأرض. صف زخميهما الابتدائيين.

29. **التفكير الناقد** إذا التقطت كرة وأنت واقف على لوح تزلج فإنّك ستندفع إلى الخلف. أما إذا كنت تقف على الأرض فإنه يمكنك تجنب الحركة عندما تلتقط الكرة. اشرح كلتا الحالتين باستخدام قانون حفظ الزخم، موضحًا أي نظام استخدمتَ في كلتا الحالتين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مختبر الفيزياء

الاصطدامات الملتحمة

تصطدم في هذا النشاط عربة متحركة بعربة ثابتة، فتلتحمان معًا في أثناء التصادم. وعليك أن تقيس كلًّا من السرعة المتجهة وكتلة العربتين قبل التصادم وبعده، ثم تحسب الزخم قبل التصادم وبعده.

سؤال التجربة

كيف يتأثر زخم نظامٍ ما بالاصطدام الملتحم؟

الأهداف

- **تصف** كيفية انتقال الزخم في أثناء التصادم.
- **تحسب** الزخم لكل من الأجسام المتصادمة.
- **تفسر البيانات** الناتجة عن التصادم.
- **تستخلص** نتائج تدعم قانون حفظ الزخم.

احتياطات السلامة

المواد والأدوات

استخدام الإنترنت.

الخطوات

1. اعرض مقطع الفيديو 1 للفصل 3 الموجود في: physicspp.com/internet_lab لتحديد كتل العربات.

2. سجل كتلة كل عربة.

3. شاهد مقطع الفيديو 2: العربة 1 تصدم العربة 2.

4. تمثل كل ثلاثة أطر في مقطع الفيديو 0.1 s، ويمثل ضلع المربع الرئيس على الرسم البياني مسافة 10 cm. سجل المسافة التي قطعتها العربة 1 في 0.1 s قبل التصادم، في جدول البيانات.

5. تابع مشاهدة التصادم، وسجل المسافة التي تحركتها العربتان الملتحمتان خلال 0.1 s بعد التصادم.

6. أعد الخطوات 5–3 مستخدمًا مقطع الفيديو 3، حيث تصطدم العربتان 1 و 3 بالعربة 2.

7. أعد الخطوات 5–3 مستخدمًا مقطع الفيديو 4، حيث تصطدم العربة 1 بالعربتين 2 و 3.

8. أعد الخطوات 5–3 مستخدمًا مقطع الفيديو 5، حيث تصطدم العربتان 1 و 3 بالعربتين 2 و 4.

التحليل

1. احسب السرعات المتجهة الابتدائية والنهائية لكل نظام من العربات.

2. احسب الزخم الابتدائي والنهائي لكل نظام من العربات.

3. **عمل الرسوم البيانية واستخدامها** ارسم رسمًا بيانيًّا يمثّل العلاقة بين الزخم النهائي والزخم الابتدائي المقابل له لجميع مقاطع الفيديو.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رقم العربة	الكتلة (kg)
جدول البيانات	
1	
2	
3	
4	

الزمن (قبل الوصول لنقطة التصادم) (s)	المسافة المقطوعة للوصول (cm)	السرعة المتجهة الابتدائية (cm/s)	كتلة العربات المتحركة قبل التصادم (g)	الزخم الابتدائي (g. cm/s)	زمن المغادرة (بعد التصادم) (s)	المسافة المقطوعة خلال المغادرة (cm)	السرعة المتجهة النهائية (cm/s)	كتلة العربات المغادرة (g)	الزخم النهائي (g. cm/s)
0.1					0.1				
0.1					0.1				
0.1					0.1				
0.1					0.1				
0.1					0.1				

الاستنتاج والتطبيق

1. ما العلاقة بين الزخم الابتدائي والزخم النهائي لأنظمة العربات في التصادمات الملتحمة؟
2. ماذا يُمثل ميل الخط في رسمك البياني نظريًّا؟
3. يمكن أن تكون البيانات الابتدائية والنهائية غير مطابقة للواقع، ويعود هذا إلى دقة الأدوات، ووجود الاحتكاك، وعوامل أخرى. هل يكون الزخم الابتدائي أكبر أم أقل من الزخم النهائي في الحالة النموذجية؟ فسّر إجابتك.

التوسع في البحث

1. صف كيف تبدو بيانات السرعة المتجهة والزخم إذا لم تلتحم العربات معًا، بل ارتدّ بعضها عن بعض.
2. صمّم تجربة لتختبر تأثير الاحتكاك في أنظمة العربات في أثناء التصادم. توقع كيف يختلف ميل الخط في الرسم البياني السابق عمّا في التجربة، ثم نفذ تجربتك.

الفيزياء في الحياة

1. افترض أن لاعبًا في مباراة كرة قدم اصطدم بلاعب آخر في وضع السكون فالتحما معًا. ما الذي يحدث للسرعة المتجهة للنظام المكون من اللاعبين إذا كان الزخم محفوظًا؟
2. إذا صدمت سيارة متحركة مؤخرة سيارة ثابتة والتحمتا معًا، فما الذي يحدث للسرعتين المتجهتين للسيارتين الأولى والثانية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الإبحار الشمسي Solar Sailing

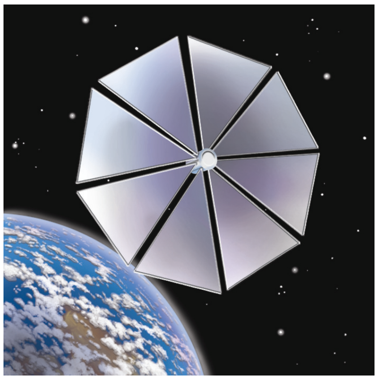
لاحظ يوهانس كبلر **قبل 400 سنة تقريبًا** أنّ ذيول المذنبات تبدو وكأنها واقعة تحت تأثير ريح خفيفة مصدرها هبّات قادمة من الشمس، فاعتقد أنّ السفن ستكون قادرة على التنقل في الفضاء عن طريق أشرعة مصممة لالتقاط هذه الهبّات، ومن هنا وُلدت فكرة الأشرعة الشمسية.

كيف يعمل الشراع الشمسي؟ الشراع الشمسي مركبة فضائية دون محرك؛ حيث يعمل الشراع وكأنه مرآة عملاقة حرة الحركة من النسيج. وتصنع الأشرعة الشمسية عادة من غشاء من البولستر والألومنيوم سمكه 5 مايكرون، أو غشاء من البولي أميد مع طبقة من الألومنيوم سمكها 100 nm يتم ترسيبها بالتساوي على أحد الوجهين لتشكّل سطحًا عاكسًا.

توفر أشعة الشمس المنعكسة قوة للصواريخ بدلًا من الوقود، حيث تتكون أشعة الشمس من جسيمات تسمى فوتونات، تنقل الفوتونات زخمها إلى الشراع عندما ترتد عنه بعد اصطدامها به. لكن اصطدام الفوتونات يولد قوة صغيرة مقارنة بالقوة التي يولدها وقود الصواريخ، وكلما زاد اتساع الشراع حصل على قوة أكبر من اصطدام عدد أكبر من الفوتونات، ولذلك تصل أبعاد الأشرعة الشمسية إلى ما يقرب من الكيلومتر.

الإبحار الشمسي وسرعة الشراع الشمسي تستمر الشمس في تزويد الشراع بالفوتونات بكميات ثابتة تقريبًا طوال وقت الرحلة الفضائية، مما يسمح للمركبة الفضائية بالوصول إلى سرعات عالية بعد فترة من بدء الارتحال. وبالمقارنة بالصواريخ التي تحمل كميات كبيرة من الوقود لدفع كتل كبيرة، لا تحتاج الأشرعة الشمسية إلا إلى فوتونات من الشمس. ولذلك قد تكون الأشرعة الشمسية طريقة متقدمة لتحريك كتل كبيرة عبر مسافات شاسعة في الفضاء خلال زمن معقول.

الرحلات المستقبلية يُعد Cosmos 1 – وهو مشروع عالمي تموله جهة خاصة– نموذج الشراع الشمسي الأول. أطلق Cosmos 1 من منصة إطلاق صواريخ مائية في 21 يونيو من العام 2005. وقد بدت المركبة الفضائية مثل وردة لها ثماني أوراق كبيرة (بتلات) من الأشرعة الشمسية. وعلى الرغم من تواضع وجهة مهمة Cosmos 1 إلا أنه لم يتح له المجال لاختبار التكنولوجيا الجديدة التي يحملها؛ وذلك بسبب عدم استكمال احتراق المرحلة الأولى من مراحل الصاروخ، كما هو محدد له، مما منع Cosmos 1 من دخول المدار كما هو مفترض.



رسم تنبؤي لكيفية ظهور Cosmos 1، الشراع الشمسي الأول في الفضاء.

تتخطى أهمية الأشرعة الشمسية كونها تقنية مثالية لقطع المسافات الشاسعة في الفضاء، كالارتحال بين الكواكب دون وقود، فهي تِعدُ أيضًا بإمكانات جديدة لمحطات مراقبة الطقس الأرضية والفضائية؛ إذ تمكنها من تغطية أشمل للأرض، كما تتيح التحذير المبكر من العواصف الشمسية لتجنب أضرارها.

التوسع

ابحث كيف تساعد الأشعة الشمسية في التحذير المسبق من العواصف الشمسية؟

1. **تفكير ناقد** يتوقع لنموذج شراع شمسي معين أن يستغرق وقتًا أطول للوصول إلى المريخ من مركبة فضائية يدفعها صاروخ يعمل بالوقود، ولكنه سيستغرق وقتًا أقل للوصول إلى نبتون من المركبة الفضائية التي يدفعها صاروخ. فسّر ذلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 3
دليل مراجعة الفصل

3-1 الدفع والزخم Impulse and Momentum

المفردات
- الدفع
- الزخم
- نظرية الدفع – الزخم

المفاهيم الرئيسة
- عندما تحل مسألة زخم فابدأ باختبار النظام قبل الحدث وبعده.
- زخم جسم ما يساوي حاصل ضرب كتلته في سرعته المتجهة وهو كمية متجهة.

$$p = m\,v$$

- الدفع على جسم ما يساوي حاصل ضرب متوسط القوة المحصلة المؤثرة فيه في الفترة الزمنية التي أثرت خلالها تلك القوة.

$$\text{الدفع} = F\Delta t$$

- الدفع على جسم ما يساوي التغير في زخمه.

$$F\Delta t = p_f - p_i$$

3-2 حفظ الزخم Conservation of Momentum

المفردات
- النظام المغلق
- النظام المعزول
- قانون حفظ الزخم

المفاهيم الرئيسة
- استنادًا إلى القانون الثالث لنيوتن في الحركة وقانون حفظ الزخم تكون القوتان المؤثرتان في جسمين متصادمين معًا متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه.
- يكون الزخم محفوظًا في النظام المغلق والمعزول.

$$p_f = p_i$$

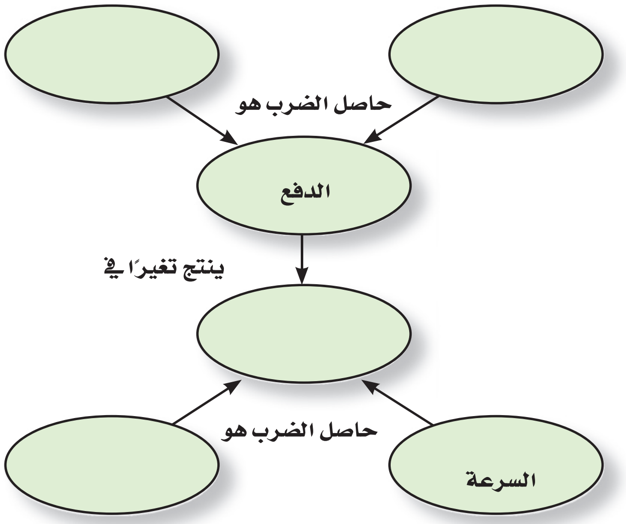
- يمكن استخدام قانون حفظ الزخم لتفسير دفع الصواريخ.
- يستخدم تحليل المتجهات لحلّ مسائل حفظ الزخم في بعدين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

التقويم

خريطة المفاهيم

30. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: الكتلة، الزخم، متوسط القوة، الفترة الزمنية التي أثرت خلالها القوة.



إتقان المفاهيم

31. هل يمكن أن يتساوى زخم رصاصة مع زخم شاحنة؟ فسّر ذلك. (3-1)

32. رمى لاعبٌ كرةً فتلقفها لاعب آخر. مفترضًا أن مقدار سرعة الكرة لم يتغير في أثناء تحليقها في الجوّ، أجب عن الأسئلة الآتية: (3-1)

a. أي اللاعبين أثّر في الكرة بدفع أكبر؟

b. أي اللاعبين أثّر في الكرة بقوة أكبر؟

33. ينص القانون الثاني لنيوتن على أنه إذا لم تؤثر قوة محصلة في نظام ما فإنه لا يمكن أن يكون هناك تسارع. هل نستنتج أنه لا يمكن أن يحدث تغير في الزخم؟ (3-1)

34. لماذا تُزود السيارات بماص صدمات يمكنه الانضغاط في أثناء الاصطدام؟ (3-1)

35. ما المقصود "بالنظام المعزول"؟ (3-2)

36. في الفضاء الخارجي، تلجأ المركبة الفضائية إلى تشغيل صواريخها لتزيد من سرعتها المتجهة. كيف يمكن للغازات الحارة الخارجة من محرك الصاروخ أن تغير سرعة المركبة المتجهة حيث لا يوجد شيء في الفضاء يمكن للغازات أن تدفعه؟ (3-2)

37. تتحرك كرة على طاولة البلياردو، فتصطدم بكرة ثانية ساكنة. فإذا كان للكرتين الكتلة نفسها، وسكنت الكرة الأولى بعد تصادمهما معًا. فماذا يمكننا أن نستنتج حول سرعة الكرة الثانية؟ (3-2)

38. أسقطت كرة سلة في اتجاه الأرض. وقبل أن تصطدم بالأرض كان اتجاه الزخم إلى أسفل، وبعد أن اصطدمت بالأرض أصبح اتجاه الزخم إلى أعلى. (3-2)

a. لماذا لم يكن زخم الكرة محفوظًا، مع أن الارتداد عبارة عن تصادم؟

b. أي نظام يكون فيه زخم الكرة محفوظًا؟

39. تستطيع قوة خارجية فقط أن تغير زخم نظام ما. وضح كيف تؤدي القوة الداخلية لكوابح السيارة إلى إيقافها. (3-2)

تطبيق المفاهيم

40. اشرح مفهوم الدفع باستخدام الأفكار الفيزيائية بدلاً من المعادلات الرياضية.

41. هل يمكن أن يكتسب جسم ما دفعًا من قوة صغيرة أكبر من الدفع الذي يكتسبه من قوة كبيرة؟ فسّر ذلك.

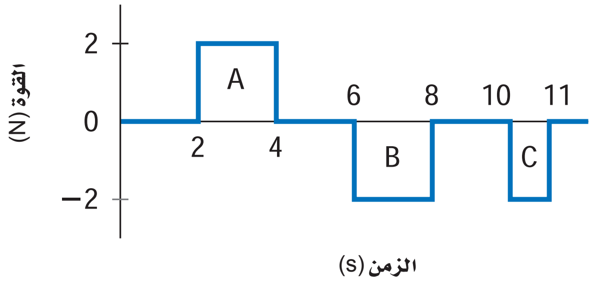
42. إذا كنت جالسًا في ملعب بيسبول واندفعت الكرة نحوك خطأً، فأيهما أكثر أمانًا لإمساك الكرة بيديك: تحريك يديك نحو الكرة ثم تثبيتها عند الإمساك بها،

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

أم تحريك يديك في اتجاه حركة الكرة نفسه؟ فسّر ذلك.

.43 انطلقت رصاصة كتلتها 0.11 g من مسدس بسرعة 323 m/s، بينما انطلقت رصاصة أخرى مماثلة من بندقية بسرعة 396 m/s. فسّر الاختلاف في مقدار سرعتي الرصاصتين، مفترضًا أنّ الرصاصتين تعرضتا لمقدار القوة نفسه من الغازات المتمددة.

.44 إذا تعرض جسم ساكن إلى قوى دفع تم تمثيلها بالمنحنى الموضح في **الشكل 10–3**، فصف حركة الجسم بعد كلٍّ من الدفع A، و B، و C.



الشكل 10–3

.45 بينما كان رائد فضاء يسبح في الفضاء، انقطع الحبل الذي يربطه مع السفينة الفضائية، فاستخدم الرائد مسدس الغاز ليرجع إلى الوراء حتى يصل السفينة. استخدم نظرية الدفع – الزخم والرسم التخطيطي؛ لتوضح فاعلية هذه الطريقة.

.46 **كرة تنس** عندما ترتد كرة تنس عن حائط ينعكس زخمها. فسّر هذه العملية باستخدام قانون حفظ الزخم، محدِّدًا النظام ومضمِّنًا تفسيرك رسمًا تخطيطيًّا.

.47 تخيل أنك تقود سفينة فضائية تتحرك بين الكواكب بسرعة كبيرة، فكيف تستطيع إبطاء سرعة سفينتك من خلال تطبيق قانون حفظ الزخم؟

.48 اصطدمت شاحنتان تبدوان متماثلتين على طريق زلق (تجاهل الاحتكاك)، وكانت إحدى الشاحنتين ساكنة، فالتحمت الشاحنتان معًا وتحركتا بسرعة مقدارها أكبر من نصف مقدار السرعة الأصلية للشاحنة المتحركة. ما الذي يمكن أن تستنتجه عن حمولة كل من الشاحنتين؟

.49 لماذا يُنصح بإسناد كعب البندقية على الكتف عند بداية تعلم الإطلاق؟ فسّر ذلك بدلالة الدفع والزخم.

.50 **طلقات الرصاص** أُطلقت رصاصتان متساويتان في الكتلة على قوالب خشبية موضوعة على أرضية ملساء، فإذا كانت سرعتا الرصاصتين متساويتين، وكانت إحدى الرصاصتين مصنوعة من المطاط والأخرى من الألومنيوم، وارتدت الرصاصة المطاطية عن القالب، في حين استقرت الرصاصة الأخرى في الخشب، ففي أي الحالتين سيتحرك القالب الخشبي أسرع؟ فسّر ذلك.

إتقان حل المسائل

1–3 الدفع والزخم

.51 **جولف** إذا ضُربت كرة جولف كتلتها 0.058 kg، بقوة مقدارها 272 N بمضرب، فأصبحت سرعتها المتجهة 62.0 m/s، فما زمن تلامس الكرة بالمضرب؟

.52 رُميت كرة بيسبول كتلتها 0.145 kg بسرعة 42 m/s. فضربها لاعب المضرب أفقيًّا في اتجاه الرامي بسرعة 58 m/s.

a. أوجد التغير في زخم الكرة.

b. إذا لامست الكرة المضرب مدة 4.6×10^{-4} s، فما متوسط القوة في أثناء التلامس؟

.53 **بولنج** إذا أثرت قوة مقدارها 186 N في كرة بولنج كتلتها 7.3 kg مدة 0.40 s، فما التغير في زخم الكرة؟ وما التغير في سرعتها المتجهة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

.54 تتسارع شاحنة نقل كتلتها 5500 kg من 4.2 m /s إلى 7.8 m /s، خلال 15 s وذلك عن طريق تطبيق قوة ثابتة عليها.

a. ما التغير الحاصل في الزخم؟

b. ما مقدار القوة المؤثرة في الشاحنة؟

.55 أطلق ضابط شرطة رصاصة كتلتها 6.0 g بسرعة 350 m /s داخل حاوية بهدف اختبار أسلحة القسم. إذا أوقفت الرصاصة داخل الحاوية خلال 1.8 ms، فما متوسط القوة التي أوقفت الرصاصة؟

.56 **الكرة الطائرة** اقتربت كرة كتلتها 0.24 kg من أروى بسرعة مقدارها 3.8 m /s في أثناء لعبة الكرة الطائرة، فضربت أروى الكرة بسرعة مقدارها 2.4 m /s في الاتجاه المعاكس. ما متوسط القوة التي أثرت بها أروى في الكرة إذا كان زمن تلامس يديها بالكرة 0.025 s؟

.57 **الهوكي** ضرب لاعبٌ قرص هوكي مؤثرًا فيه بقوة ثابتة مقدارها 30.0 N مدة 0.16 s. ما مقدار الدفع المؤثر في القرص؟

.58 **التزلج** إذا كانت كتلة أخيك 35.6 kg، وكان لديه لوح تزلج كتلته 1.3 kg، فما الزخم المشترك لأخيك مع لوح التزلج إذا تحركا بسرعة 9.50 m /s؟

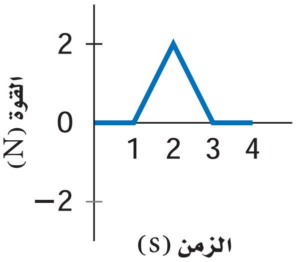
.59 ضرب لاعبٌ قرصَ هوكي ساكنًا كتلته 0.115 kg، فأثر فيه بقوة ثابتة مقدارها 30.0 N في زمن مقداره 0.16 s، فما مقدار السرعة التي سيتجه بها إلى الهدف.

.60 إذا تحرك جسم كتلته 25 kg بسرعة متجهة +12 m /s قبل أن يصطدم بجسم آخر، فأوجد الدفع المؤثر فيه إذا تحرك بعد التصادم بالسرعة المتجهة

a. +8.0 m /s

b. −8.0 m /s

.61 تتحرك كرة كتلتها 0.150 kg في الاتجاه الموجب بسرعة مقدارها 12 m /s، بفعل الدفع المؤثر فيها والموضح في الرسم البياني في **الشكل 11–3**. ما مقدار سرعة الكرة عند 4.0 s؟



الشكل 11–3

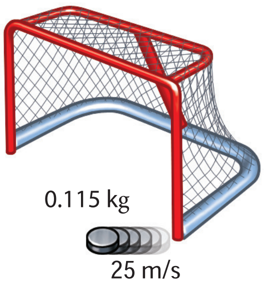
.62 **البيسبول** تتحرك كرة بيسبول كتلتها 0.145 kg بسرعة 35 m /s قبل أن يمسكها اللاعب مباشرة.

a. أوجد التغير في زخم الكرة.

b. إذا كانت اليد التي أمسكت الكرة، والمحمية بقفاز، في وضع ثابت، حيث أوقفت الكرة خلال 0.050 s، فما متوسط القوة المؤثرة في الكرة؟

c. إذا تحركت اليد في أثناء إيقاف الكرة إلى الخلف حيث استغرقت الكرة 0.500 s لتتوقف، فما متوسط القوة التي أثرت فيها اليد في الكرة؟

.63 **هوكي** إذا اصطدم قرص هوكي كتلته 0.115 kg بعمود المرمى بسرعة 37 m /s، وارتد عنه في الاتجاه المعاكس بسرعة 25 m /s، انظر **الشكل 12–3**.



الشكل 12–3

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

a. فما الدفع على القرص؟

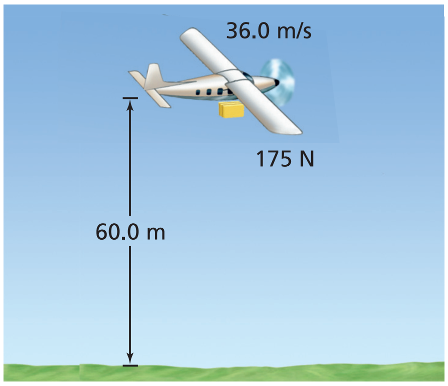
b. وما متوسط القوة المؤثرة في القرص، إذا استغرق التصادم 5.0×10^{-4} s؟

64. إذا تحرك جزيء نيتروجين كتلته 4.7×10^{-26} kg بسرعة 550 m/s، واصطدم بجدار الإناء الذي يحويه مرتدًّا إلى الوراء بمقدار السرعة نفسه.

a. فما الدفع الذي أثر به الجزيء في الجدار؟

b. إذا حدث 1.5×10^{23} تصادم كل ثانية، فما متوسط القوة المؤثرة في الجدار؟

65. حلّقت طائرة إنقاذ حيوانات في اتجاه الشرق بسرعة 36.0 m/s، وأسقطت رزمة علف من ارتفاع 60.0 m، انظر إلى **الشكل 13–3**. أوجد مقدار واتجاه زخم رزمة العلف قبل اصطدامها بالأرض مباشرة، علمًا بأن وزنها 175 N.



الشكل 13–3

66. **حادث** اصطدمت سيارة متحركة بسرعة 10.0 m/s بحاجز وتوقفت خلال 0.050 s. وكان داخل السيارة طفل كتلته 20.0 kg. افترض أن سرعة الطفل المتجهة تغيرت بنفس مقدار تغير سرعة السيارة المتجهة وفي الفترة الزمنية نفسها.

a. ما الدفع اللازم لإيقاف الطفل؟

b. ما متوسط القوة المؤثرة في الطفل؟

c. ما الكتلة التقريبية لجسمٍ وزنه يساوي القوة المحسوبة في الفرع b؟

d. هل يمكنك رفع مثل هذا الوزن بذراعك؟

e. لماذا يُنصح باستخدام كرسي أطفال في السيارة، بدلاً من احتضان الطفل؟

67. **الصواريخ** تُستخدم صواريخ صغيرة لعمل تعديل بسيط في مقدار سرعة الأقمار الاصطناعية. فإذا كانت قوة دفع أحد هذه الصواريخ 35 N، وأُطلق لتغيير السرعة المتجهة لمركبة فضائية كتلتها 72000 kg بمقدار 63 cm/s، فما الفترة الزمنية التي يجب أن يؤثر الصاروخ في المركبة خلالها؟

3–2 حفظ الزخم

68. **كرة القدم** ركض لاعبُ كرةِ قدم كتلته 95 kg بسرعة 8.2 m/s، فاصطدم في الهواء بلاعب دفاع كتلته 128 kg يتحرك في الاتجاه المعاكس، وبعد تصادمهما معًا في الجو أصبحت سرعة كل منهما صفرًا.

a. حدّد الوضعين قبل الاصطدام وبعده، ومثّلهما برسم تخطيطي.

b. كم كان زخم اللاعب الأول قبل التصادم؟

c. ما التغير في زخم اللاعب الأول؟

d. ما التغير في زخم لاعب الدفاع؟

e. كم كان زخم لاعب الدفاع قبل التصادم؟

f. كم كانت سرعة لاعب الدفاع قبل التصادم؟

69. تحركت كرة زجاجية C كتلتها 5.0 g بسرعة مقدارها 20.0 cm/s، فاصطدمت بكرة زجاجية أخرى D

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

كتلتها 10.0 g تتحرك بسرعة 10 cm /s في الاتجاه نفسه. أكملت الكرة C حركتها بعد الاصطدام بسرعة مقدارها 8.0 cm /s وفي الاتجاه نفسه.

a. ارسم الوضع، وعرّف النظام، ثم حدّد الوضعين قبل التصادم وبعده، وأنشئ نظام إحداثيات.

b. احسب زخمي الكرتين قبل التصادم.

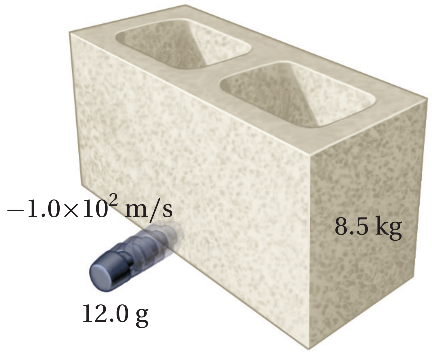
c. احسب زخم الكرة C بعد التصادم.

d. احسب زخم الكرة D بعد التصادم.

e. ما مقدار سرعة الكرة D بعد التصادم؟

.70 أُطلقت قذيفة كتلتها 50.0 g بسرعة متجهة أفقية مقدارها 647 m /s، من منصة إطلاق كتلتها 4.65 kg، تتحرك في الاتجاه نفسه بسرعة 2.00 m /s. ما السرعة المتجهة للمنصة بعد الإطلاق؟

.71 تحركت رصاصة مطاطية كتلتها 12.0 g بسرعة متجهة مقدارها 150 m /s، فاصطدمت بطوبة أسمنتية ثابتة كتلتها 8.5 kg موضوعة على سطح عديم الاحتكاك، وارتدت في الاتجاه المعاكس بسرعة متجهة -1.0×10^2 m /s، انظر **الشكل 14–3**. ما السرعة التي ستتحرك بها الطوبة؟

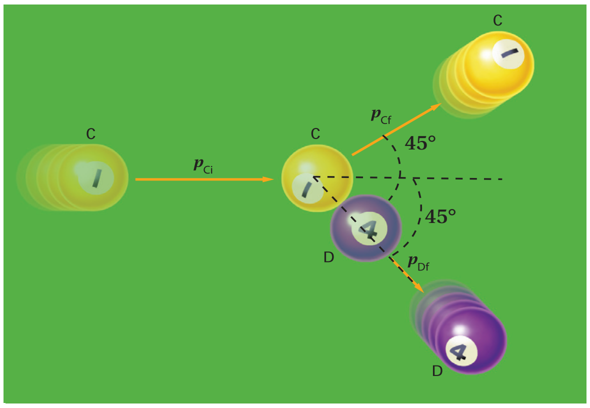


الشكل 14–3

.72 دفعت عربتا مختبر متصلتان بنابض إحداهما نحو الأخرى لينضغط النابض، وتسكن العربتان. وعند افلاتهما ابتعدت العربة التي كتلتها 5.0 kg بسرعة متجهة 0.12 m /s، في حين ابتعدت العربة الأخرى التي كتلتها 2.0 kg في الاتجاه المعاكس. ما السرعة المتجهة للعربة ذات الكتلة 2.0 kg؟

.73 **لوح التزلج** يركب أحمد الذي كتلته 42 kg لوح تزلج كتلته 2.00 kg، ويتحركان بسرعة 1.20 m /s. فإذا قفز أحمد عن اللوح وتوقف لوح التزلج تمامًا في مكانه، فما مقدار سرعة قفزه؟ وما اتجاهه؟

.74 **البلياردو** تدحرجت كرة بلياردو كتلتها 0.16 kg بسرعة 4.0 m /s، فاصطدمت بالكرة الثابتة التي تحمل رقم أربعة والتي لها الكتلة نفسها. فإذا تحركت الكرة الأولى بزاوية 45° فوق الخط الأفقي، وتحركت الكرة الثانية بالزاوية نفسها تحت الخط الأفقي – انظر **الشكل 15–3** – فما السرعة المتجهة لكل من الكرتين بعد التصادم؟



الشكل 15–3

.75 اصطدمت شاحنة كتلتها 2575 kg، بمؤخرة سيارة صغيرة ساكنة كتلتها 825 kg، فتحركتا معًا بسرعة 8.5 m /s. احسب مقدار السرعة الابتدائية للشاحنة، وذلك بإهمال الاحتكاك بالطريق.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

.76 **التزلج** يقف متزلجان أحدهما مقابل الآخر، ثم يتدافعان بالأيدي. إذا كانت كتلة الأول 90 kg، وكتلة الثاني 60 kg

a. ارسم الوضع محددًا حالتيهما قبل التدافع، وبعده، وأنشيء نظام إحداثيات.

b. أوجد النسبة بين سرعتي المتزلجين في اللحظة التي أفلتا فيها أيديهما.

c. أي المتزلجين سرعته أكبر؟

d. أي المتزلجين دفع بقوة أكبر؟

.77 تحركت كرة بلاستيكية كتلتها 0.200 kg بسرعة 0.30 m /s فاصطدمت بكرة بلاستيكية أخرى كتلتها 0.100 kg تتحرك في الاتجاه نفسه بسرعة 0.10 m /s. بعد التصادم استمرت الكرتان في الحركة في اتجاهها نفسه قبل التصادم. فإذا كانت السرعة الجديدة للكرة ذات الكتلة 0.100 kg هي 0.26 m /s، فكم تكون السرعة الجديدة للكرة الأخرى؟

مراجعة عامة

.78 تؤثر قوة ثابتة مقدارها 6.00 N في جسم كتلته 3.00 kg مدة 10.0 s. ما التغير في زخم الجسم وسرعته المتجهة؟

.79 تغيرت السرعة المتجهة لسيارة كتلتها 625 kg من 10.0 m /s إلى 44.0 m /s خلال 68.0 s، بفعل قوة خارجية ثابتة.

a. ما التغير الناتج في زخم السيارة؟

b. ما مقدار القوة التي أثرت في السيارة؟

.80 **سيارة سباق** تتسارع سيارة سباق كتلتها 845 kg من السكون إلى 100.0 km /h خلال 0.90 s.

a. ما التغير في زخم السيارة؟

b. ما متوسط القوة المؤثر في السيارة؟

c. ما الذي ولّد هذه القوة؟

.81 **هوكي الجليد** تحرك قرص هوكي كتلته 0.115 kg بسرعة 35.0 m /s، فاصطدم بسترة كتلتها 0.365 kg رميت على الجليد من قبل أحد المشجعين، فانزلق القرص والسترة معًا. أوجد سرعتهما المتجهة.

.82 تركب فتاة كتلتها 50.0 kg عربة ترفيه كتلتها 10.0 kg، وتتحرك شرقًا بسرعة 5.0 m /s. فإذا قفزت الفتاة من مقدمة العربة ووصلت الأرض بسرعة 7.0 m /s في اتجاه الشرق بالنسبة إلى الأرض.

a. ارسم الوضعين قبل القفز وبعده، وعيّن نظام إحداثياتهما.

b. أوجد السرعة المتجهة للعربة بعد أن قفزت منها الفتاة.

.83 قفز شاب كتلته 60.0 kg إلى ارتفاع 0.32 m.

a. ما زخمه عند وصوله إلى الأرض؟

b. ما الدفع اللازم لإيقاف الشاب؟

c. عندما يهبط الشاب على الأرض تنثني ركبتاه مؤديتين إلى إطالة زمن التوقف إلى 0.050 s. أوجد متوسط القوة المؤثرة في جسم الشاب.

d. قارن بين قوة إيقاف الشاب ووزنه.

التفكير الناقد

.84 **تطبيق المفاهيم** يركض لاعب كتلته 92 kg بسرعة 5.0 m /s، محاولاً الوصول إلى المرمى مباشرة، وعندما وصل خط المرمى اصطدم بلاعبين من فريق الخصم في الهواء كتلة كل منهما 75 kg، وقد كانا يركضان في عكس اتجاهه، حيث كان أحدهما يتحرك بسرعة

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

2.0 m /s، والآخر بسرعة 4.0 m /s، فالتحموا جميعًا، وأصبحوا كأنهم كتلة واحدة.

a. ارسم الحدث موضحًا الوضع قبل الاصطدام وبعده.

b. ما السرعة المتجهة للاعبي الكرة بعد التصادم؟

الكتابة في الفيزياء

85. كيف يمكن أن تصمم حواجز الطريق السريع لتكون أكثر فاعلية في حماية أرواح الأشخاص؟ ابحث في هذه القضية، وصف كيف يمكن استخدام الدفع والتغير في الزخم في تحليل تصاميم الحواجز.

86. على الرغم من أن الوسائد الهوائية تحمي العديد من الأرواح، إلاّ أنها قد تسبب إصابات تؤدي إلى الموت. اكتب آراء صانعي السيارات في ذلك، وحدّد ما إذا كانت المشاكل تتضمن الدفع والزخم أو أشياء أخرى.

مراجعة تراكمية

87. لُفّ حبلٌ حول طبل قطره 0.600 m. وسُحب بآلة تؤثر فيه بقوة ثابتة مقدارها 40.0 N مدة 2.00 s. وفي هذه الفترة تم فك 5.00 m من الحبل. أوجد ω، α عند 2.0 s. (الفصل 2)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. ينزلق متزلج كتلته 40.0 kg على الجليد بسرعة مقدارها 2 m/s، في اتجاه زلاّجة ثابتة كتلتها 10.0 kg على الجليد. وعندما وصل المتزلج إليها اصطدم بها، ثم واصل المتزلج انزلاقه مع الزلاّجة في الاتجاه الأصلي نفسه لحركته. ما مقدار سرعة المتزلج والزلاّجة بعد تصادمهما؟

Ⓐ 0.4 m/s Ⓒ 1.6 m/s

Ⓑ 0.8 m/s Ⓓ 3.2 m/s

2. يقف متزلج كتلته 45.0 kg على الجليد في حالة سكون عندما رمى إليه صديقه كرة كتلتها 5.0 kg، فانزلق المتزلج والكرة إلى الوراء بسرعة مقدارها 0.50 m/s، فما مقدار سرعة الكرة قبل أن يمسكها المتزلج مباشرة؟

Ⓐ 2.5 m/s Ⓒ 4.0 m/s

Ⓑ 3.0 m/s Ⓓ 5.0 m/s

3. ما فرق الزخم بين شخص كتلته 50.0 kg يركض بسرعة مقدارها 3.00 m/s، وشاحنة كتلتها 3.00×10^3 kg تتحرك بسرعة مقدارها 1.00 m/s؟

Ⓐ 1275 kg. m/s Ⓒ 2850 kg. m/s

Ⓑ 2550 kg. m/s Ⓓ 2950 kg. m/s

4. أثرت قـوة مقدارها 16 N في حجـر بدفع مقداره 0.8 kg. m/s مسـببةً تحليـق الحجر عن الأرض بسرعة مقدارها 4.0 m/s. ما كتلة الحجر؟

Ⓐ 0.2 kg Ⓒ 1.6 kg

Ⓑ 0.8 kg Ⓓ 4.0 kg

الأسئلة الممتدة

5. تسقط صخرة كتلتها 12.0 kg على الأرض. ما الدفع على الصخرة إذا كانت سرعتها المتجهة لحظة الاصطدام بالأرض 20.0 m/s؟

إرشاد

لقد صيغت البدائل بحيث تبدو جميعها صحيحة؛ لذا كن حذرًا من بدائل إجابة أسئلة الاختيار من متعدد التي تبدو جميعها صحيحة، وتذكّر أن بديلاً واحدًا فقط هو الصواب. تفحص جميع البدائل بدقة قبل أن تحدد البديل الصحيح.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 4

الشغل والطاقة والآلات البسيطة
Work, Energy, and Simple Machines

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- التمييز بين مفهومي الشغل والقدرة، وكيف يصفان تأثير المحيط الخارجي في تغيير طاقة النظام.
- الربط بين القوة والشغل وتفسير كيفية تقليل الآلات للقوة اللازمة لإنجاز شغل.

الأهمية

إن الآلات البسيطة والآلات المركبة المكوّنة من مجموعة آلاتٍ بسيطة تجعل العديد من المهام اليومية سهلة التنفيذ.

الدراجات الهوائية الجبلية تتيح لك الدراجات الهوائية الجبلية المتعددة السرعات، والمزودة بماصات الصدمات تكييف قدرات جسدك؛ فتؤثر بقوة، وتبذل شغلًا، وتوفر القدرة اللازمة لصعود سفوح التلال الشديدة الانحدار ونزولها، واجتياز التضاريس المنبسطة بسرعة وأمان.

فكِّر ◀

كيف تُساعد الدراجة الهوائية الجبلية المتعددة السرعات السائقَ على القيادة فوق التضاريس المختلفة بجهد قليل؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تجربة استهلالية

ما العوامل المؤثرة في الطاقة؟

سؤال التجربة ما العوامل التي تؤثر في طاقة الأجسام الساقطة رأسيًّا ومقدرتها على إنجاز شغل؟

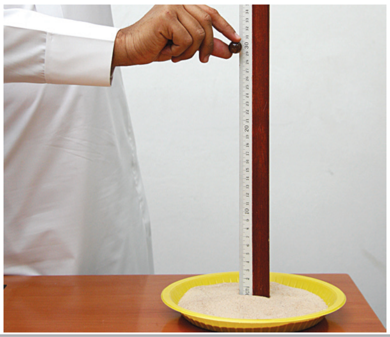
الخطوات

1. ضع 2 cm من الرمل الناعم في طبق مرتفع الحافة.
2. أحضر مجموعة من الكـرات المعدنية أو من الزجاج بحجوم وكتل مختلفة.
3. أمسك مسطرة مترية بإحدى يديك بحيث تنغرس نهايتها السفلى في الرمل، ويكون صفر التدريج للمسطرة على سطح الرمل تمامًا وأسقط إحدى الكرات باليد الأخرى على الرمل. وسجّل الارتفاع الذي أُسقطت منه الكرة.
4. أزل الكرة من الرمل بعناية على ألّا تؤثر في الفوهة التي أحدثتها، وسجّل عمق الفوهة والمسافات التي وصل إليها الرمل بعد تناثره منها.
5. سجّل كتلة الكرة.
6. أعد تسوية سطح الرمل في الطبق، وكرر الخطوات 3–5 باستخدام كرات مختلفة الكتل، على أن تسقطها من ارتفاعات مختلفة. تنبه أيضًا إلى ضرورة إسقاط الكرات المختلفة من الارتفاع نفسه، وكذلك الكرة نفسها من ارتفاعات مختلفة.

التحليل

قارن بين البيانات التي سجلتها. هل تأخذ هذه البيانات نمطًا محددًا؟ وضح ذلك.

التفكير الناقد عندما تسقط الكرات على الرمل فإنها تنجز شغلاً. ولأنه يمكن تعريف طاقة جسم ما بأنها قدرة الجسم على إنجاز شغل على نفسه أو على الوسط المحيط فيه، لذا فإن الشغل الذي أنجزته الكرات في الرمل هو طاقتها. اربط بين بياناتك وطاقة الكرات، ووضح كيف يمكن أن تزداد طاقة الكرة.



1–4 الطاقة والشغل Work and Energy

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

الأهداف

- **تصف** العلاقة بين الشغل والطاقة.
- **تحسب** الشغل.
- **تحسب** القدرة المستهلكة.

المفردات

الشغل	الجول
الطاقة	القدرة
الطاقة الحركية	الواط
نظرية الشغل – الطاقة	

لقد درست في الفصل السابق حفظ الزخم، وتعلمت كيفية تحديد حالة نظام قبل أن يؤثر فيه دفع وبعده دون الحاجة إلى معرفة تفاصيل هذا الدفع. وقد تبين لك أن لقانون حفظ الزخم فائدة خاصة عند دراسة التصادمات التي تتغير خلالها القوى أحيانًا بشكل كبير جدًّا.

تذكّر المناقشة التي وردت في الفصل السابق والمتعلقة بالمتزجين اللذين يدفع كل منهما الآخر، فعلى الرغم من أن الزخم محفوظٌ في هذه الحالة، فإن المتزجين يستمران في الحركة بعد أن يدفع كل منهما الآخر، مع أنهما كانا ساكنين قبل التصادم.

من جهة أخرى، يكون الزخم محفوظًا عندما تصطدم سيارتان، لكنهما تتوقفان عن الحركة على الرغم من أنهما كانتا متحركتين قبل التصادم، على عكس مثال المتزجين. وبالإضافة إلى التغير الحادث في الحالة الحركية لكلا الجسمين المتصادمين فإنه غالبًا ما يؤدي التصادم إلى التواء كبير في المعادن وتهشم الزجاج، ومن المنطقي هنا أن نعتقد أنه لا بد من حدوث تغير في كمية فيزيائيةٍ ما نتيجة تأثير القوة في كل نظام، فما الكمية التي تتغير؟ وكيف؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الشغل والطاقة Work and Energy

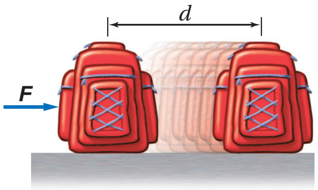
تذكّر أن التغير في الزخم يكون نتيجة تأثير الدفع الذي يساوي حاصل ضرب متوسط القوة المؤثرة في جسم ما في زمن تأثير القوة. افترض أن جسمًا يتحرك مسافة معينة وهو واقع تحت تأثير قوة ما فيه، لابد أن الجسم سيتسارع بحسب العلاقة $a = \frac{F}{m}$، وستزداد سرعته المتجهة؛ وذلك لأنه واقع تحت تأثير قوة محصلة. انظر إلى البيانات التي في **الجدول 3–3** في كتاب فيزياء 1 (المستوى الأول) الفصل الثالث، الذي يتضمن مجموعة معادلات تصف العلاقات بين الموقع، والسرعة المتجهة والزمن للأجسام المتحركة بتسارع ثابت. واختر المعادلة التي تتضمن التسارع، السرعة المتجهة والمسافة:

$$2ad = v_f^2 - v_i^2$$

إذا استخدمت قانون نيوتن الثاني لتعويض F/m بدلاً من a، وضربت طرفي المعادلة في الحدّ $\frac{m}{2}$، فستحصل على المعادلة الآتية:

$$Fd = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

الشغل يصف الطرف الأيسر من المعادلة التغير الذي طرأ على النظام نتيجة تأثير الوسط الخارجي (المحيط). فقد أثرت القوة F في جسم ما، بينما كان هذا الجسم يتحرك مسافة d كما في **الشكل 1–4**. فإذا كانت F قوة ثابتة تؤثر في الاتجاه نفسه لحركة الجسم فإن **الشغل** W يكون حاصل ضرب القوة في إزاحة الجسم.



■ **الشكل 1–4** يُبذل شغلٌ عندما تؤثر قوة ثابتة F في حقيبة كتب في اتجاه الحركة، وتتحرك الحقيبة مسافة d.

الشغل $W = Fd$

الشغل يساوي حاصل ضرب القوة الثابتة المؤثرة في جسم في اتجاه حركته في إزاحة الجسم تحت تأثير هذه القوة.

ربما استخدمت كلمة شغل لتعطي معاني أخرى غير هذا المعنى، فمثلاً تقول: إن جهاز الحاسوب يشتغل جيدًا، أو إن فهم الفيزياء يتطلب "شغلًا" كثيرًا، أو إنك ستشتغل بدوام جزئي بعد انتهاء العمل في المدرسة. ولكن الشغل عند الفيزيائيين له معنى آخر أكثر تحديدًا.

تذكّر أن $Fd = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$، وبإعادة كتابة هذه المعادلة مستخدمين $W = Fd$ ينتج:

$$W = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

فالطرف الأيمن للمعادلة يتضمن كتلة الجسم وسرعته بعد تأثير القوة وقبله، والكمية $\frac{1}{2}mv^2$ تصف خاصية مميزة للنظام.

الطاقة الحركية ما الخاصية المميزة للنظام التي تصفها الكمية $\frac{1}{2}mv^2$؟ إن المركَبة الثقيلة التي تتحرك بسرعة كبيرة تستطيع تدمير الأجسام من حولها، كما أن كرة البيسبول ترتفع إلى مسافات عالية عند قذفها بسرعة كبيرة في الهواء، أيْ أن امتلاك جسم ما لهذه الخاصية يمكّنه من إحداث تغير في ذاته أو فيما يحيط به. وهذه الخاصية المتمثلة في قدرة الجسم على

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

إحداث تغيير في ذاته أو فيما يحيط به تسمى **الطاقة**. فلكل من المركبة وكرة البيسبول طاقة مرتبطة مع حركة كل منهما. والطاقة الناتجة عن الحركة تسمى **الطاقة الحركية**، ويعبر عنها بالرمز KE.

الطاقة الحركية $KE = \frac{1}{2} mv^2$

الطاقة الحركية لجسمٍ ما تساوي حاصل ضرب نصف كتلة الجسم في مربع سرعته.

عوّض KE في المعادلة $W = KE_f - KE_i$ فينتج $W = \frac{1}{2} mv_f^2 - \frac{1}{2} mv_i^2$، حيث يُمثل الطرف الأيمن من المعادلة الأخيرة الفرق أو التغير في الطاقة الحركية. وهذا يسمى **نظرية الشغل – الطاقة**، والتي تنص على أنه إذا بُذل شغل على جسمٍ ما فإن طاقة حركته تتغير. ويمكن تمثيل هذه النظرية بالمعادلة الآتية:

نظرية الشغل – الطاقة $W = \Delta KE$

الشغل يساوي التغير في الطاقة الحركية.

إن العلاقة بين الشغل المبذول والتغير في الطاقة الناتجة تم تحديدها في القرن التاسع عشر على يد العالم جيمس بريسكوت جول، وتكريمًا لجهوده أطلق اسمه "**جول**" على وحدة الطاقة (J) **joule**. فمثلاً، إذا تحرّك جسم كتلته 2 kg بسرعة 1 m /s فإن طاقته الحركية $1\ kg.m^2 /s^2$ أو 1 J.

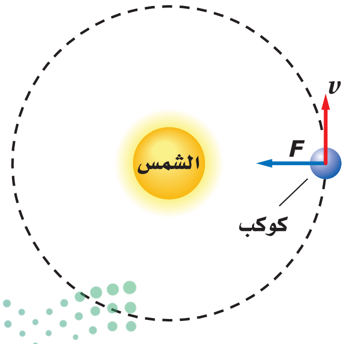
تذكّر أن النظام هو الجسم موضع الدراسة، والمحيط الخارجي هو كل شيء ما عدا الجسم. فمثلاً قد يكون أحد الأنظمة صندوقًا في مستودع، ويمكن أن يتكون المحيط الخارجي منك أنت وكتلة الأرض وكل ما هو خارج الصندوق. ويمكن أن تنتقل الطاقة بين المحيط الخارجي والنظام خلال عملية إنجاز الشغل.

ويمكن أن تنتقل الطاقة في كلا الاتجاهين. فإذا بَذل المحيط الخارجي شغلاً على النظام فإن الشغل W يكون موجبًا، وتزداد طاقة النظام. أما إذا بَذل النظام شغلاً على المحيط الخارجي فإن الشغل W يكون سالبًا، وتتناقص طاقة النظام. أيْ أن الشغل هو انتقال الطاقة بطرائق ميكانيكية. وليس لإشارة الشغل دلالة اتجاهية؛ فالشغل كمية قياسية، ونستدل من الإشارة على كسب أو فقد النظام للطاقة.

حساب الشغل Calculating Work

إن المعادلة الأولى التي استخدمت لحساب الشغل هي $W = Fd$، وتستخدم هذه المعادلة عندما تؤثر قوى ثابتة في اتجاه حركة الجسم فقط. والآن، ماذا يحدث عندما تؤثر القوة في اتجاه متعامد مع اتجاه الحركة؟ للإجابة عن هذا السؤال سندرس حركة كوكبٍ ما حول الشمس، انظر **الشكل 2–4**. فإذا كان المدار دائريًّا فإن القوة تكون دائمًا متعامدة مع اتجاه الحركة. وقد درست سابقًا أن القوة العمودية على اتجاه حركة جسم ما لا تغير مقدار سرعته، وإنما تغير اتجاه حركته؛ لذا فإن مقدار سرعة الكوكب لا يتغير، أيْ أن طاقته الحركية ثابتة أيضًا.

الشكل 2–4 إذا كان كوكب يدور في مدار دائري، فإن القوة التي يتأثر بها تكون متعامدة مع اتجاه حركته؛ ولذا فإن قوة الجذب لا تبذل شغلاً على الكوكب.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

وباستخدام المعادلة $W = \Delta KE$ ستلاحظ أنه عندما تكون الطاقة الحركية ثابتة فإن $\Delta KE = 0$، لذا فإن $W = 0$. وهذا يعني أنه إذا كانت القوة $\boldsymbol{F}$ والإزاحة $\boldsymbol{d}$ متعامدتين فإن $W = 0$.

ولأن الشغل المبذول على جسم ما يساوي التغير في الطاقة، فإن الشغل يُقاس بوحدة الجول أيضًا. يبذل جول واحد من الشــغل عندما تؤثر قوة مقدارها 1N في جسم، وتحركه مسافة 1m في اتجاهها. فعندما ترفع تفاحة تزن 1N مسافة 1m فإنك تبذل شغلاً عليها مقداره 1 J.

قوة ثابتة تميل بزاوية على الإزاحة تعلمت سابقًا أن القوة التي تؤثر في اتجاه الحركة تبذل شــغلاً يُعبر عنه بالمعادلة $W = Fd$، وأن القــوة التي تؤثر في اتجاه متعامد مع اتجاه الحركة لا تبذل شــغلاً. فما الشــغل الذي تبذله القوة التي تؤثر بزاوية مع اتجاه الحركة؟ فمثلاً، ما الشغل الذي يبذله الشخص الذي يدفع المركبة في **الشكل 3a–4**؟ تعلم أنه يمكن التعامل مع مركّبتي القوة بدلًا من القوة، فإذا استخدمت نظام الإحداثيات في **الشكل 3b–4**، فإن القوة F التي تؤثـــر في اتجاه ذراع الشخص لها مركبتان: مركبة أفقية F_x، ومركبة رأسية F_y. وباستخدام المعلومات في الرسم، مقدار F يساوي 125 N، والزاوية التي تميل بها على الأفقي 25.0°، يمكن حساب المركّبتين: مقدار المركبة الأفقية F_x يرتبط بمقدار القوة F من خلال اقتران جيب التمام: حيث $\cos 25.0^\circ = F_x / F$. وبحل المعادلة للمركّبة F_x نحصل على $F_x = -F \cos 25.0^\circ = -(125\ \text{N})(\cos 25.0^\circ) = -113\ \text{N}$، والإشارة السالبة تعني أن المركّبة الأفقية للقوة في اتجاه اليسار. وباستخدام الطريقة نفسها لحساب المركّبة الرأسيّة نحصل على:

$$F_y = -F \sin 25.0^\circ = -(125\ \text{N})(\sin 25.0^\circ) = -52.8\ \text{N}$$

الإشارة السالبة تعني أن القوة إلى أسفل. وحيث إن الإزاحة في اتجاه المحور x؛ لذا فإن المركّبة الأفقية للقوة هي التي تبذل شغلاً فقط، أما المركّبة الرأسية فلا تبذل شغلاً.

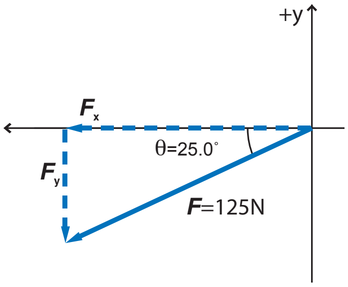
إن الشــغل الذي تبذله عندما تؤثر بقوة في جســم في اتجاه يصنع زاويــة مع اتجاه حركته يساوي حاصل ضرب مركبة القوة في اتجاه إزاحة الجسم في الإزاحة التي تحركها. ويمكن إيجــاد مقدار مركّبة القوة المؤثرة في اتجــاه الإزاحة؛ وذلك بضرب مقدار القوة $\boldsymbol{F}$ في جيب تمــام الزاوية المحصورة بين اتجاه القوة $\boldsymbol{F}$ واتجاه الإزاحــة، $F_x = F \cos \theta$. ويمكن تمثيل الشغل المبذول بالمعادلة الآتية:

الشغل (في حالة وجود زاوية بين القوة والإزاحة) $W = Fd \cos \theta$

الشــغل يســاوي حاصل ضرب القوة والإزاحة في جيب تمام الزاوية المحصورة بين القوة واتجاه الإزاحة.

a

b



■ **الشكل 3–4** إذا أثرت قوة في مركبة بزاوية، فإن القوة المحصلة التي تبذل الشغل هي مركبة القوة التي تؤثر في اتجاه إزاحة الجسم.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تتأثر السيارة في أثناء دفعها بقوى أخرى، فأيّ هذه القوى تبذل شغلاً؟

تؤثر قوة الجاذبية إلى أسفل، ويؤثر سطح الأرض بقوة رأسية إلى أعلى، ويؤثر الاحتكاك بقوة أفقية في عكس اتجاه الحركة. أما القوتان المؤثرتان إلى أعلى وإلى أسفل فتكونان متعامدتين مع اتجاه الحركة، ولا تبذلان شغلاً، وتكون الزاوية التي تصنعها هاتان القوتان مع الإزاحة $90°$، مما يجعل $\cos\theta = 0$؛ لذا فإن $W = 0$.

إن الشغل المبذول من قوة الاحتكاك يؤثر في اتجاه معاكس لاتجاه الحركة، أي بزاوية $180°$. ولأن $\cos 180° = -1$ فإن الشغل المبذول من قوة الاحتكاك يكون دائمًا سالبًا. والشغل السالب المبذول من قوة مؤثرة من المحيط الخارجي يقلّل من الطاقة الحركية للنظام. فإذا توقف الشخص في **الشكل 3a–4** عن الدفع فإن السيارة ستتوقف عن الحركة، أي ستقل طاقتها الحركية.

يزيد الشغل الموجب المبذول بواسطة قوة من طاقة النظام، في حين يؤدي الشغل السالب إلى نقصانها. استخدم "استراتيجيات حل المسألة" الآتية عندما تحلّ المسائل المتعلقة بالشغل.

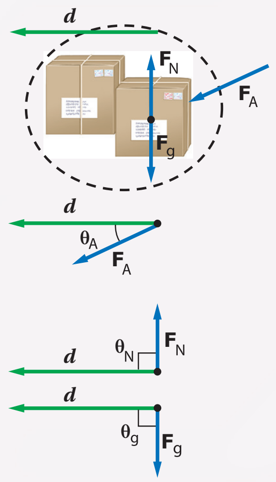
استراتيجية حلّ المسائل

الشغل

إذا أردت حل مسائل تتعلق بالشغل فاستخدم استراتيجية الحل الآتية:

1. ارسم مخطّطًا توضيحيًّا للنظام، ثم وضّح القوة التي تبذل شغلاً.
2. ارسم متجهات القوة والإزاحة للنظام.
3. أوجد الزاوية θ بين كل قوة والإزاحة.
4. احسب الشغل المبذول من كل قوة باستخدام المعادلة $W = Fd\cos\theta$.
5. احسب الشغل الكلي المبذول. وتأكد من إشارة الشغل معتمدًا على اتجاه انتقال الطاقة، فإذا ازدادت طاقة النظام فإن الشغل المبذول من تلك القوة يكون موجبًا، أما إذا تناقصت طاقة النظام فإن الشغل المبذول من تلك القوة يكون سالبًا.

مخطط توضيحي للشغل

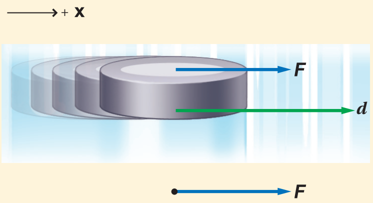


مثـــال 1

الشغل والطاقة ينزلق قرص هوكي كتلته 105 g على سطح جليدي، فإذا أثر لاعب بقوة ثابتة مقدارها 4.50 N في القرص فحرّكه لمسافة 0.150 m في اتجاه القوة نفسه، فما مقدار الشغل الذي بذله اللاعب على القرص؟ وما مقدار التغير في طاقة القرص؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخطّطًا توضيحيًّا للحالة يوضح الظروف الابتدائية.
- كوّن نظامًا إحداثيًّا على أن تكون x+ في اتجاه اليمين.
- ارسم مخطط المتجهات.



المعلوم	المجهول
$m = 105\ g$	$W = ?$
$F = 4.50\ N$	$\Delta KE = ?$
$d = 0.150\ m$	

دليل الرياضيات
إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية 205–204

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم معادلة الشغل عندما تؤثر قوة ثابتة في اتجاه إزاحة الجسم نفسه.

$W = Fd$

$= (4.50\ N)(0.150\ m)$ — عوّض مستخدمًا $d = 0.150\ m,\ F = 4.50\ N$

$= 0.675\ N.m$

$= 0.675\ J$ — $1\ J = 1\ N.m$

استخدم نظرية الشغل – الطاقة لحساب التغير في طاقة النظام.

$W = \Delta KE$

$\Delta KE = 0.675\ J$ — عوّض مستخدمًا $W = 0.675\ J$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يُقاس الشغل بوحدة الجول.
- **هل للإشارة معنى؟** إن اللاعب (المحيط الخارجي) يبذل شغلاً على القرص (النظام)؛ لذا فإن إشارة الشغل يجب أن تكون موجبة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسائل تدريبية

1. اعتمد على المثال 1 لحل المسألة الآتية:

a. إذا أثر لاعب الهوكي في القرص، بضعف القوة أي 9.00N، فكيف تتغير طاقة حركة القرص؟

b. إذا أثر اللاعب بقوة مقدارها 9.00 N في القرص، ولكن بقيت العصا ملامسة للقرص لنصف المسافة فقط، أيْ 0.075 m، فما مقدار التغير في الطاقة الحركية؟

2. يؤثر طالبان معًا بقوة مقدارها 825 N لدفع سيارة مسافة 35 m.

a. ما مقدار الشغل الذي يبذله الطالبان على السيارة؟

b. إذا تضاعفت القوة المؤثرة، فما مقدار الشغل المبذول لدفع السيارة إلى المسافة نفسها؟

3. يتسلق رجل جبلاً وهو يحمل حقيبة كتلتها 7.5 kg، وبعد 30.0 min وصل إلى ارتفاع 8.2 m فوق نقطة البداية.

a. ما مقدار الشغل الذي بذله المتسلق على حقيبة الظهر؟

b. إذا كان وزن المتسلق 645 N، فما مقدار الشغل الذي بذله لرفع نفسه هو وحقيبة الظهر؟

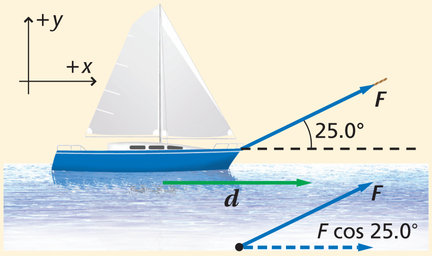
c. ما مقدار التغير في طاقة المتسلق والحقيبة؟

مثـــال 2

القوة والإزاحة بينهما زاوية يسحب بحّار قاربًا مسافة 30.0 m في اتجاه رصيف الميناء مستخدمًا حبلاً يصنع زاوية 25.0° فوق المحور الأفقي. ما مقدار الشغل الذي يبذله البحّار على القارب إذا أثر بقوة مقدارها 255 N في الحبل؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- أنشئ محاور الإسناد.
- ارسم مخطّطًا توضيحيًّا للحالة يوضح الشروط الابتدائية للقارب.
- ارسم مخطط المتجهات موضحًا القوة ومركبتها في اتجاه الإزاحة.



المعلوم	المجهول
$F = 255\ N$ ،$d = 30.0\ m$ ،$\theta = 25.0°$	$W = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم معادلة الشغل عندما توجد زاوية بين القوة والإزاحة.

$$W = Fd\cos\theta$$

$$= (255\ N)(30.0\ m)(\cos 25.0°)$$

عوّض مستخدمًا $F = 255\ N\ m, d = 30.0\ m, \theta = 25.0°$

$$= 6.93\times10^{3}\ J$$

دليل الرياضيات

النسب المثلثية 228

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يُقاس الشغل بوحدة الجول.
- **هل للإشارة معنى؟** يبذل البحار شغلاً على القارب، يتوافق مع الإشارة الموجبة للشغل.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسائل تدريبية

4. إذا كان البحار في المثال 2 يسحب القارب بالقوة نفسها إلى المسافة نفسها ولكن بزاوية 50.0°، فما مقدار الشغل الذي يبذله؟

5. يرفع شخصان صندوقًا ثقيلاً مسافة 15 m بحبلين يصنع كل منها زاوية 15° مع الرأسي، ويؤثر كل من الشخصين بقوة مقدارها 225 N. ما مقدار الشغل الذي يبذلانه؟

6. يحمل مسافر حقيبة سفر وزنها 215 N إلى أعلى سُلَّم، بحيث يعمل إزاحة مقدارها 4.20 m في الاتجاه الرأسي و4.60 m في الاتجاه الأفقي.

a. ما مقدار الشغل الذي بذله المسافر؟

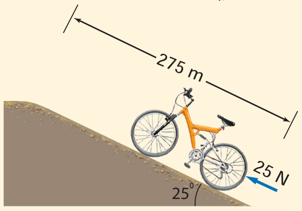
b. إذا حمل المسافر نفسه حقيبة السفر نفسها إلى أسفل السلم نفسه، فما مقدار الشغل الذي يبذله؟

7. يُستخدم حبل في سحب صندوق مسافة 15.0 m على سطح الأرض، فإذا كان الحبل مربوطًا بحيث يصنع زاوية مقدارها 46.0° فوق سطح الأرض وتؤثر قوة مقدارها 628 N في الحبل، فما مقدار الشغل الذي تبذله هذه القوة؟

8. دفع سائق دراجة هوائية كتلتها 13 kg إلى أعلى تل ميله 25° وطوله 275 m، في اتجاه موازٍ للطريق وبقوة مقدارها 25 N، كما في **الشكل 4–4**، فما مقدار الشغل الذي:

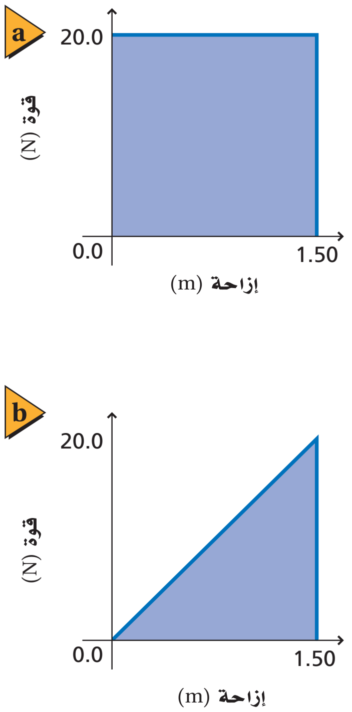
a. يبذله السائق على دراجته الهوائية؟

b. تبذله قوة الجاذبية الأرضية على الدراجة الهوائية؟



■ **الشكل 4–4**

■ **الشكل 5–4** يمكن حساب الشغل المبذول بيانيًا بإيجاد المساحة تحت المنحنى البياني للقوة - الإزاحة.



إيجاد الشغل المبذول عندما تتغير القوى المؤثرة إن الرسم البياني للقوة – الإزاحة يمكّنك من حساب الشغل التي تبذله القوة، وتستخدم هذه الطريقة البيانية في حل مسائل تكون فيها القوة المؤثرة متغيرة. ويوضح **الشكل 5a–4** الشغل المبذول من خلال قوة ثابتة مقدارها 20.0 N، والتي تؤثر في جسم ما لرفعه إلى أعلى مسافة 1.50 m. الشغل الذي تبذله هذه القوة الثابتة يمكن تمثيله بالمعادلة: $W = Fd = (20.0\ N)\ (1.50\ m) = 30.0\ J$

أما المساحة المظللة تحت المنحنى البياني فتساوي (20.0 N) (1.50 m)، أو 30.0 J، أي أن المساحة تحت المنحنى البياني (القوة – الإزاحة) تساوي الشغل الذي تبذله تلك القوة حتى لو تغيرت تلك القوة.

يوضح **الشكل 5b–4** القوة التي تؤثر في نابض، والتي تتغير خطيًّا من 0.0 إلى 20.0 N عند تعرضه للانضغاط مسافة 1.50 m. إن الشغل الذي بذلته القوة التي عملت على انضغاط النابض يساوي المساحة تحت المنحنى البياني، والتي تمثل مساحة مثلث، حيث تساوي $(\frac{1}{2})$ (القاعدة)(الارتفاع)، أو: $W = \frac{1}{2}(20.0\ N)\ (1.50\ m) = 15.0\ J$

الشغل الذي تبذله عدة قوى يربط قانون نيوتن الثاني في الحركة القوة المحصلة المؤثرة في جسم ما مع تسارعه. وبالطريقة نفسها، تربط نظرية الشغل – الطاقة بين الشغل الكلي المبذول على نظام ما والتغير في طاقته الحركية. فإذا أثرت عدة قوى في نظام، فاحسب الشغل الذي تبذله كل قوة، ثم اجمع النتائج.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

القدرة Power

لم تتطرق المناقشات السابقة المتعلقة بالشغل إلى الزمن اللازم لتحريك جسم ما. إن الشغل الذي يبذله شخص ما لرفع صندوق من الكتب إلى رف مثلًا لا يتغير، سواء رُفع الصندوق كاملًا إلى الرف خلال 2 s، أم رفع كل كتاب من الصندوق على حدة، بحيث استغرق رفع كافة كتب الصندوق إلى الرف 20 min، وعلى الرغم من تساوي الشغل في الحالتين إلا أن معدل بذل الشغل يكون مختلفًا في كل حالة، ويطلق مصطلح القدرة على المعدل الزمني لبذل الشغل، أي أن **القدرة** هي الشغل المبذول مقسومًا على الزمن اللازم لبذل الشغل. أو أن القدرة هي المعدل الذي تُغيّر فيه القوة الخارجية طاقة النظام، ويمكن حساب القدرة وفقًا للمعادلة الآتية:

القدرة

$$P = \frac{W}{t}$$

القدرة تساوي الشغل المبذول مقسومًا على الزمن اللازم لإنجاز الشغل.

انظر **الشكل 6–4** الذي يوضّح ثلاثة طلاب وهم يصعدون سُلّمًا. إذا افترضنا أن كتل الطلاب الثلاثة متساوية، فهذا يعني أن كلًّا منهم ينجز الشغل نفسه، لكن الطالب الذي يسير منفردًا يصعد السلّم مسرعًا مقارنة بالطالبين الذين يسيران معًا، أي أن قدرته على الصعود أكبر من قدرة أي منهما؛ فالطالب المنفرد ينجز الشغل نفسه في وقت أقل. من جهة أخرى، قدرة كل من الطالبين اللذين يسيران معًا على صعود السلّم متساوية؛ لأن كلًّا منهما ينجز الشغل نفسه خلال الفترة الزمنية نفسها.

تُقاس القدرة بوحدة **الواط** (W)، ويساوي الواط الواحد انتقال طاقة مقدارها 1 J خلال فترة زمنية مقدارها 1 s. ووحدة الواط صغيرة بالنسبة للقدرة، فمثلاً إذا رفعت كأس ماء وزنه 2 N مسافة 0.5 m إلى فمك تكون قد بذلت شغلاً مقداره 1 J، وإذا رفعت الكأس خلال 1 s تكون قد بذلت شغلاً بمعدل 1 W، ولأن وحدة الواط صغيرة فإن القدرة تُقاس غالبًا بوحدة الكيلوواط (kW)، وهي تساوي 1000 W. كما تستخدم وحدة الحصان الميكانيكي لقياس القدرة، وهو يساوي 746 W.

الشكل 6–4 يبذل هؤلاء الطلاب شغلاً بمعدلات مختلفة عندما يصعدون السلم.

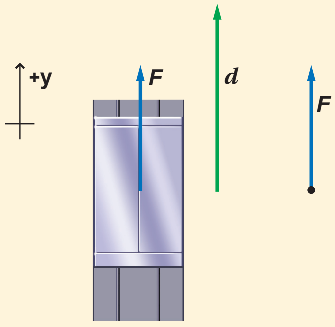
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مثـــــال 3

القدرة يرفع محرك كهربائي مصعدًا مسافة 9.00 m خلال 15.0 s بالتأثير بقوة رأسيَّة إلى أعلى مقدارها 1.20×10^4 N . ما القدرة التي ينتجها المحرك بوحدة kW؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخططًا توضيحيًّا للحالة يوضح المصعد مع الشروط الابتدائية.
- اختر محاور إسناد على أن يكون الاتجاه الموجب رأسيًّا إلى أعلى.
- ارسم مخطط المتجهات للقوة والإزاحة.



المعلوم	المجهول
$d = 9.00$ m	$P = ?$
$t = 15.0$ s	
$F = 1.20\times10^4$ N	

2 إيجاد الكمية المجهولة

حل بالنسبة للقدرة.

دليل الرياضيات
إجراء العمليات الرياضية بدلالتها العلمية 212—213

$$P = \frac{W}{t}$$

عوّض مستخدمًا $W=Fd$

$$= \frac{Fd}{t}$$

عوّض مستخدمًا $F=1.20\times10^4$ N, $d=9.00$ m, $t=15.0$ s

$$= \frac{(1.20\times10^4\ \text{N})(9.00\ \text{m})}{(15.0\ \text{s})}$$

$$= 7.20\ \text{kW}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تُقاس القدرة بوحدة J/s.
- **هل للإشارة معنى؟** تتفق الإشارة الموجبة مع الاتجاه الرأسي للقوة المؤثرة إلى أعلى.

مسائل تدريبية

9. رُفع صندوق يزن 575 N رأسـيًّا إلى أعلى مسافة 20.0 m بحبل قوي موصول بمحرك. فإذا تم إنجاز العمل خلال 10.0 s، فما القدرة التي يولدها المحرك بوحدة W ووحدة kW؟

10. إذا كنت تدفع عربة يدوية مســـافة 60.0 m وبسرعة ثابتة المقدار مدة 25.0 s، وذلك بالتأثير بقوة مقدارها 145 N في اتجاه أفقي

a. فما مقدار القدرة التي تولدها؟

b. وإذا كنت تحرك العربة بضعف مقدار السرعة، فما مقدار القدرة التي تولدها؟

11. ما مقدار القدرة التي تولدها مضخة في رفع 35 L من الماء كل دقيقة من عمق 110 m؟ [كل 1 L من الماء كتلته 1.00 kg]

12. يولـــد محرك كهربائي قدرة 65 kW لرفع مصعد مكتمل الحمولة مســـافة 17.5 m خـــلال 35 s. ما مقدار القوة التي يبذلها المحرك؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

13. صُمّمت رافعة ليتم تثبيتها على شــاحنة كما في **الشــكل 7–4** ، ولدى اختبار قدرتها ربطت الرافعة بجســم وزنه يعادل أكبر قوة تســتطيع الرافعة التأثير بها، ومقدارها 6.8×10^3 N، فرفعت الجســم مســافة 15 m مولدة قدرة مقدارها 0.30 kW. ما الزمن الذي احتاجت إليه الرافعة لرفع الجسم؟

14. توقفت سيارتك فجأة وقمت بدفعها، ولاحظت أن القوة اللازمة لجعلها تستمر في الحركة آخذة في التناقص مع استمرار حركة السيارة. افترض أنه خلال مسافة 15 m الأولى تناقصت قوتك بمعدل ثابت من 210.0 N إلى 40.0 N، فما مقدار الشــغل الذي بذلته على السيارة؟ ارسم المنحنى البياني القوة – الإزاحة لتمثل الشغل المبذول خلال هذه الفترة.

الشكل 7–4

لاحظ في المثال 3 أنه عندما تكون القوة والإزاحة في الاتجاه نفسه فإن $P=\frac{Fd}{t}$.

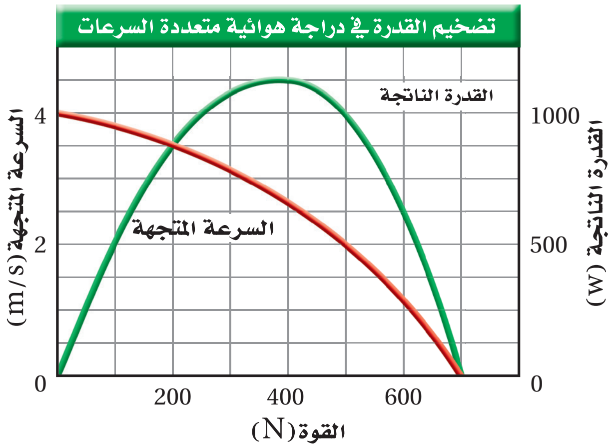
ولأن النســبة $\frac{d}{t}$ تمثــل مقــدار السرعة فــإن القدرة يمكن حســابها باســتخدام العلاقة $P=Fv$ أيضًا.

كيف تحدد الوضع المناسب لناقل السرعات عندما تركب دراجة هوائية متعددة السرعات؟ بكل تأكيد أنت ترغب في جعل جسمك ينتج أكبر قدرة ممكنة. إذا أخذت المعادلة $P=Fv$ في الاعتبار فســوف تلاحظ أن القدرة تكون صفرًا عندما تكون السرعة صفرًا، أو تكون القوة صفــرًا. وفي المقابل لكي تكون القدرة أكبر ما يمكن لا بــد أن تكون كل من القوة والسرعة أكبر ما يمكن، لكن عضلات أجســامنا تعجــز عن التأثير بقوى كبيرة جدًّا، كما تعجز عن التحرك بسرعات كبيرة جدًّا، ولذلك فإن مزيجًا من سرعة معتدلة وقوة معتدلة ســينتج أكبر كمية من القدرة. وكما تخضع عضلات أجسامنا لمحددات تخضع المحركات أيضًا لمحددات. يوضح **الشكل 8–4** ذلك عن طريق حالة خاصة لمحرك؛ حيث إن أقصى قدرة منتجة تفــوق 1000 W عندما تكون القوة 400 N تقريبًا ومقدار السرعة 2.6 m/s تقريبًا، وجميع المحركات عليها محددات، ولذلك تصمم الآلات البســيطة بحيث تتلاءم القوة ومقدار السرعة اللتان يولدهما المحرك بحســب ما يتطلبه إنجاز عمل ما دون تجاوز محددات المحرك. وستتعلم المزيد عن الآلات البسيطة في القسم الآتي.

تطبيق الفيزياء

سباق جولات الدراجات في فرنسا

يقود سائق دراجته الهوائية في مسابقة جولات الدراجات الهوائية في فرنسا بسرعة 8.94 m/s أكثر من 6 h يوميًّا. القدرة الناتجة للمتسابق 1 kW تقريبًا، حيث يُستهلك ربع تلك القدرة في تحريك الدراجة الهوائية ضد مقاومة الهواء ومبدّل السرعات والعجلات، ثلاثة أرباع تلك القدرة تُستهلك لتبريد جسم المتسابق.



الشكل 8–4 عندما تركب دراجة هوائية متعددة السرعات فإنها تضخم قدرتك؛ فإذا أثرت عضلاتك بقوة مقدارها 400 N، وكانت السرعة 2.6 m/s فإن القدرة الناتجة ستزيد على 1000 W. لاحظ أن الرسم البياني يعبر عن علاقتين؛ العلاقة بين السرعة والقوة (باللون الأحمر)، والعلاقة بين القدرة الناتجة والقوة (باللون الأخضر).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

1–4 مراجعة

.15 الشغل تدفع مريم جسمًا كتلته 20 kg مسافة 10 m على أرضية غرفة بقوة أفقية مقدارها 80 N. احسب مقدار الشغل الذي تبذله مريم.

.16 الشغل يدفع عاملٌ ثلاجةً كتلتها 185 kg بسرعة ثابتة إلى أعلى لوح مائل عديم الاحتكاك طوله 10.0 m ويميل بزاوية $11.0°$ على الأفقي؛ لتحميلها على سيارة نقل. ما مقدار الشغل الذي يبذله العامل؟

.17 الشغل والقدرة هل يعتمد الشغل اللازم لرفع كتاب إلى رف عـالٍ، على مقدار سرعة رفعه؟ وهل تعتمد القدرة على رفع الكتاب عـلى مقدار سرعة رفعه؟ وضح إجابتك.

.18 القدرة يرفع مصعد جسمًا كتلته $1.1×10^3$ kg مسافة 40.0 m خلال 12.5 s. ما القدرة التي يولدها المصعد؟

.19 الشغل تسقط كرة كتلتها 0.180 kg مسافة 2.5 m، فما مقدار الشـغل الذي تبذله قوة الجاذبية الأرضية على الكرة؟

.20 الكتلة ترفع رافعة صندوقًا مسـافة 1.2 m، وتبذل عليه شغلاً مقداره 7.0 kJ. ما مقدار كتلة الصندوق؟

.21 الشغل تحمل أنت وزميلك صندوقين متماثلين من الطابق الأول في مبنـى إلى غرفة تقع في نهاية ممر في الطابق الثاني. فإذا اخـترت أن تحمل الصندوق إلى أعلى الدرج ثم تمر عبر الممر لتصل إلى الغرفة، في حين اختار زميلك أن يحمل صندوقه من الممر في الطابق الأول ثم يصعد به سلّمًا رأسيًّا إلى أن يصل إلى الغرفة، فأيكما يبذل شغلًا أكبر؟

.22 الشغل وطاقة الحركة إذا تضاعفت الطاقة الحركية لجسم بفعل شغل مبذول عليه، فهل تتضاعف سرعة الجسم؟ إذا كان الجواب بالنفي فما النسبة التي تتغير بها سرعة الجسم؟

.23 التفكير الناقد وضح كيفية إيجاد التغير في طاقة نظام إذا أثرت فيه ثلاث قوى في آنٍ واحد.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4–2 الآلات Machines

يستخدم الناس الآلات يوميًّا، فبعضها أدوات بسـيطة، ومنها فتَّاحة الزجاجات ومفك البراغـي، وبعضها الآخر مركبًا، ومنها الدراجة الهوائية والسـيارة. وسـواء كانت هذه الآلات تُـدار بالمحركات أم بقوى بشرية فهي تؤدي في النهاية إلى تسـهيل أداء المهام، كما تؤدي **الآلة** إلى تخفيف الحمل، وذلك بتغيير مقدار القوة أو اتجاهها؛ حتى تتناسـب القوة مع مقدرة الآلة أو الشخص.

◄ الأهداف

- **توضح** فوائد الآلات البسيطة.
- **قارن** بين كفاءة الآلات المثالية والحقيقية.
- **تحلّل** الآلات المركبة مبيِّنًا الآلات البسيطة التي تكونت منها.
- **تحسب** كفاءة الآلات البسيطة والمركبة.

◄ المفردات

الآلة

القوة (المسلّطة)

المقاومة

الفائدة الميكانيكية

الفائدة الميكانيكية المثالية

الكفاءة

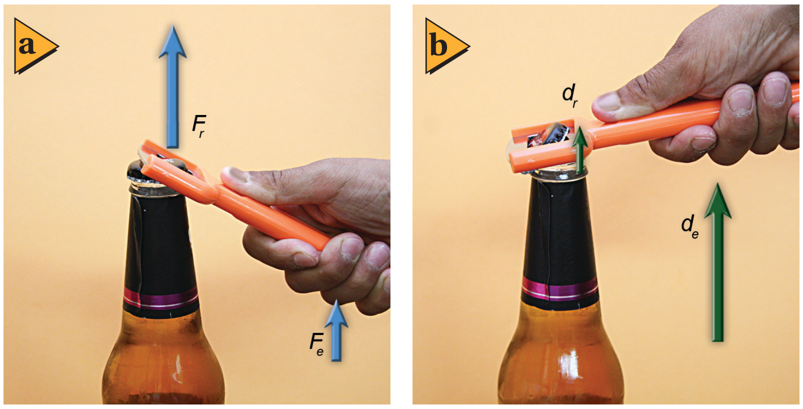
الآلة المركبة

فوائد الآلات Benefits of Machines

لندرس فتّاحة الزجاجات المبينة في **الشـكل 9–4**، فعندما تستخدم هذه الأداة فإنك ترفع طرفها البعيد، لذا تكون قد بذلت شغلًا على الفتاحة، التي بدورها تبذل شغلا على الغطاء عندما ترفعه. ويُسمى الشغل الذي بذلته أنت في هذه الحالة الشغل المبذول W_i، أما الشغل الذي بذلته الأداة فيسمى الشغل الناتج W_o.

تذكّر أن الشغل هو عملية انتقال الطاقة بالطرائق الميكانيكية. فأنت خزنت شغلاً في الأداة كفتاحة الزجاجات مثلاً؛ لذا تكون قد نقلت طاقة إلى هذه الأداة. وفي المقابل بذلت فتاحة الزجاجات شـغلاً على الغطاء؛ ولذا فقـد نقلت الطاقة إليه. لا تعـد فتاحة الزجاجات مصدر طاقة، ولذلك لا يكتسب الغطاء طاقة تزيد على كمية الطاقة التي خزنتها في فتاحة الزجاجات. وهذا يعني أن الشغل الناتج لا يمكن أن يكون أكبر من الشغل المبذول.

الفائـدة الميكانيكيـة إن القـوة التي أثرت في الآلة بواسـطة شـخص ما تسـمى **القوة المسـلّطة** F_e (المبذولة)، أو اختصارًا القوة. أما القوة التي أثرت بها الآلة فتُسـمى **المقاومة** F_r. يبين لنا **الشكل 9a–4**، أن F_e (القوة) هي قوة رأسية إلى أعلى أثرت بواسطة الشخص عند استخدام فتاحة الزجاجات، وأن (المقاومة) F_r هي قوة رأسية إلى أعلى أثرت بواسطة فتاحة الزجاجات، وتُسمى نسبة المقاومة إلى القوة $\frac{F_r}{F_e}$ **الفائدة الميكانيكية** MA للآلة.



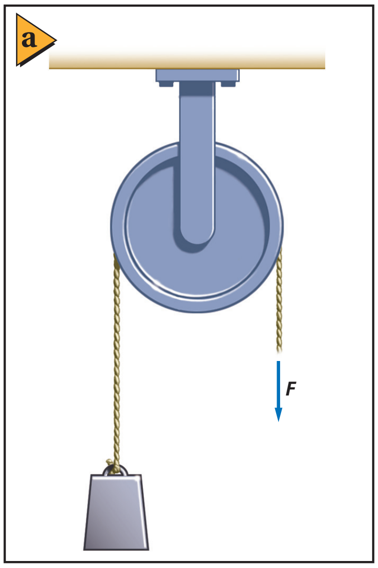
■ **الشـكل 9–4** تُعد فتّاحة الزجاجات مثالاً على الآلات البسـيطة؛ إذ تسهّل عملية فتح الزجاجات، ولكنها لا تقلّل من الشغل اللازم لذلك.

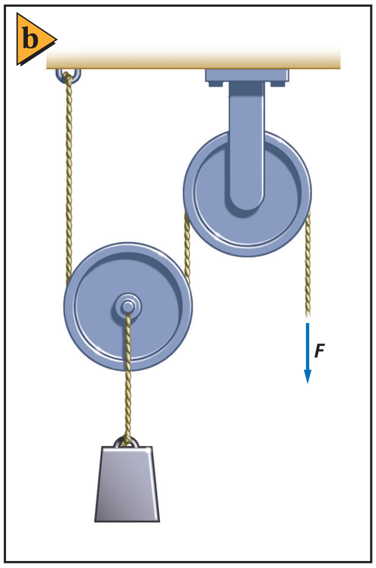
تساعد الآلة على نقل الطاقة من الشخص إلى فتاحة الزجاجات بصورة بسيطة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفائدة الميكانيكية $MA = \frac{F_r}{F_e}$

الفائدة الميكانيكية للآلة تساوي ناتج قسمة المقاومة على القوة.





■ **الشكل 10–4** الفائدة الميكانيكية للبكرة الثابتة تساوي1(**a**). ونظام البكرات الذي يحوي بكرة قابلة للحركة له فائدة ميكانيكية تزيد على 1(**b**).

القوتان F_e وF_r متساويتان في نظام البكرة الثابتة الموضحة في **الشكل 10a–4** . لذا فـإن MA تســاوي 1، فما فائدة هذه الآلة؟ تُعد البكرة الثابتة مفيدة، ليس لأنها تقلّل من القوة المســلطة، ولكن لأنها تغير من اتجاهها. إن الكثير من الآلات– ومنها فتّاحة الزجاجات في **الشكل 9–4** ونظام البكرات في **الشــكل 10b–4**– لهما فائدة ميكانيكية أكــبر من 1، فعندما تكون الفائدة الميكانيكية أكبر من 1 فإن الآلة تعمل على زيادة القوة التي أثر بها شخص ما.

تســتطيع أن تعبر عن الفائدة الميكانيكية للآلة بطريقة أخرى مستخدمًا تعريف الشغل؛ حيث إن الشغل المبذول يســاوي حاصل ضرب القوة F_e التي يؤثر بها شخص ما في الإزاحة التي تحركتها يده (d_e)، والشــغل الناتج يساوي حاصل ضرب المقاومة F_r في إزاحة المقاومة (d_r)، وكما أسلفنا لا تستطيع الآلة زيادة الطاقة، لكنها تستطيع زيادة القوة. أما الآلة المثالية فتستطيع نقل الطاقة كلها؛ لذا فإن الشغل الناتج يساوي الشغل المبذول.

$$F_r d_r = F_e d_e \text{ أو } W_o = W_i$$

ويمكن إعادة كتابة هذه المعادلة على الصورة $\frac{F_r}{F_e} = \frac{d_e}{d_r}$. تذكّر أن الفائدة الميكانيكية يُعبر عنها بالمعادلـــة $MA = \frac{F_r}{F_e}$؛ لذا فإن **الفائدة الميكانيكية المثالية** (IMA) للآلة المثالية تســاوي إزاحة القوة مقسومة على إزاحة المقاومة. ويمكن التعبير عن الفائدة الميكانيكية المثالية بالمعادلة الآتية:

الفائدة الميكانيكية المثالية $IMA = \frac{d_e}{d_r}$

الفائدة الميكانيكية المثالية للآلة المثالية تساوي إزاحة القوة مقسومة على إزاحة المقاومة.

لاحظ أنك قسِــت المسافات لحســاب الفائدة الميكانيكية المثالية، في حين قست القوى المؤثرة لإيجاد الفائدة الميكانيكية الفعلية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الكفاءة يكون الشغل المبذول في الآلات الحقيقية أكبر من الشغل الناتج. وأن إزالة الطاقة من النظام تعني أن هناك نقصانًا في الشـغل الـذي تنتجه الآلة، ونتيجة لذلك تكون الآلة أقل كفاءة (فاعلية) عند إنجاز المهمة. ويمكن تعريف **كفاءة** الآلة (e) على أنها نسبة الشغل الناتج إلى الشغل المبذول.

الكفاءة $e = \frac{W_o}{W_i} \times 100$

إن كفاءة الآلة (كنسبة مئوية %) تساوي الشغل الناتج مقسومًا على الشغل المبذول مضروبًا في العدد 100.

إن الآلة المثالية لها شغل ناتج يساوي الشغل المبذول، حيث إن $\frac{W_o}{W_i} = 1$ وكفاءتها تساوي 100 %. وجميع الآلات الحقيقية كفاءتها أقل من 100 %.

يمكن التعبير عن الكفاءة بدلالة الفائدة الميكانيكية والفائدة الميكانيكية المثالية، حيث تحتسب الكفاءة e من النسبة $\frac{W_o}{W_i}$ والتي يمكن كتابتها على النحو الآتي: $\frac{W_o}{W_i} = \frac{F_r d_r}{F_e d_e}$

ولأن $MA = \frac{F_r}{F_e}$ و $IMA = \frac{d_e}{d_r}$، فإنه يمكن التعبير عن الكفاءة على النحو الآتي:

الكفاءة $e = \frac{MA}{IMA} \times 100$

إن كفاءة الآلة (كنسبة مئوية %) تساوي فائدتها الميكانيكية مقسومة على فائدتها الميكانيكية المثالية مضروبة في العدد 100.

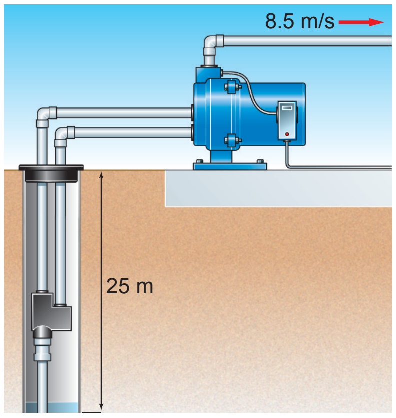
تجربة عملية
كيف تساعدك البكرات على رفع الأشياء؟
ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين الإثرائية

يحدّد تصميم الآلات فائدتها الميكانيكية المثالية؛ فالآلة ذات الكفاءة العالية لها فائدة ميكانيكية تساوي غالبًا كفاءتها الميكانيكية المثالية، وللحصول على قوة المقاومة نفسها فإنه يجب التأثير بقوة أكبر في الآلة ذات الكفاءة المتدنية مقارنة بالآلة ذات الكفاءة العالية.

مسألة تحفيز

تسحب مضخة كهربائية الماء بمعدل $0.25\ m^3/s$ من بئر عمقها 25 m، فإذا كان الماء يتدفق خارجًا من المضخة بسرعة 8.5 m/s

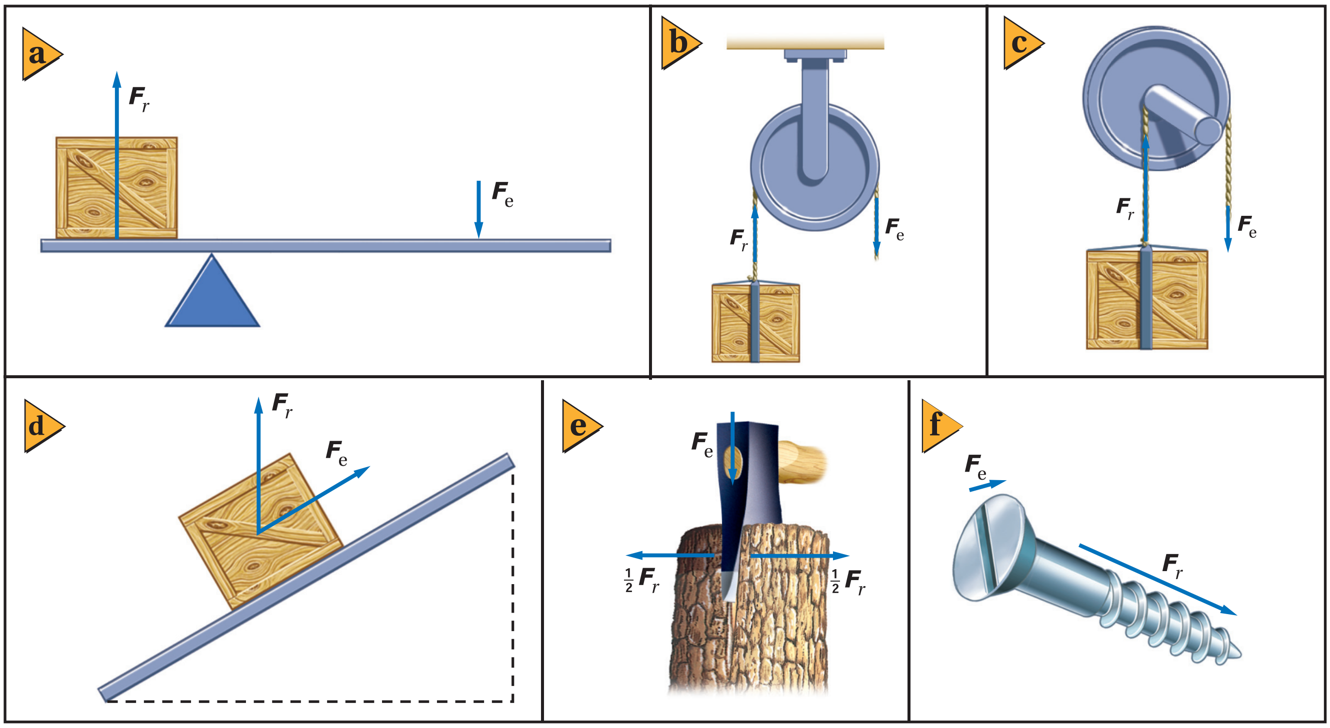
1. ما القدرة اللازمة لرفع الماء إلى السطح؟
2. ما القدرة اللازمة لزيادة الطاقة الحركية للمضخة؟
3. إذا كانت كفاءة المضخة 80 %، فما القدرة التي يجب تزويد المضخة بها؟



(الأبعاد في الصورة ليست بمقياس رسم)

الآلات المركّبة Compound Machines

تتركب معظم الآلات بغض النظر عن مستوى تعقيدها من آلة بسيطة واحدة أو أكثر من الآلات الآتية: الرافعة، البكرة، العجلة والمحور، المستوى المائل، الوتد (الإسفين) البرغي. انظر **الشكل 11–4**.

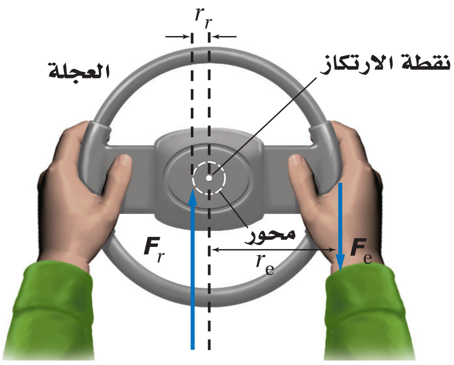


■ **الشكل 11–4** آلات بسيطة تشتمل على (**a**) رافعة، (**b**) بكرة، (**c**) عجلة ومحور، (**d**) مستوى مائل، (**e**) إسفين (وتد) و (**f**) برغي.

إن الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) لكل الآلات الموضحة في **الشكل 11–4** هي النسبة بين المسافات المقطوعة، ويمكن استبدال هذه النسبة للآلات "كالرافعة" و"العجلة والمحور" مثلاً، بنسبة المسافات بين النقاط التي أثرت عندها كل من القوة والمقاومة ونقطة الارتكاز.

تعتبر عجلة القيادة -كما في **الشكل 12–4** - مثالًا شائعًا للعجلة والمحور؛ حيث تكون الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) هي النسبة بين نصفي قطري العجلة والمحور.

الآلة المركّبة هي الآلة التي تتكون من آلتين بسيطتين أو أكثر ترتبطان معًا، بحيث تصبح المقاومة لإحدى هذه الآلات قوة (مسلطة) للآلة الأخرى.



■ **الشكل 12–4** الفائدة الميكانيكية المثالية (*IMA*) لعجلة القيادة تساوي $\frac{r_e}{r_r}$.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

■ **الشكل 13–4** تتراكب مجموعة من الآلات البسيطة لكي تنقل القوة التي يبذلها السائق على دوّاسة الدراجة إلى الطريق.

تعمل كل من الدوّاسة وناقل الحركة الأمامي، في الدراجة الهوائية، عمل العجلة والمحور. حيث تكون القوة (المسلّطة) هي القوة التي يؤثر بها السائق في الدوّاسة ($F_{\text{السائق على الدوّاسة}}$)، أما المقاومة فهي القوة التي يؤثر بها ناقل الحركة الأمامي في السلسلة ($F_{\text{ناقل الحركة على السلسلة}}$) كما في **الشكل 13–4**. وتؤثر السلسلة بقوة (مسلطة) في ناقل الحركة الخلفي ($F_{\text{السلسلة على ناقل الحركة}}$) تساوي القوة المؤثرة في السلسلة. ويعمل ناقل الحركة والإطار الخلفي عمل عجلة ومحور إضافيين.

المقاومة هي القوة التي يؤثر بها الإطار في الطريق ($F_{\text{الإطار على الطريق}}$). وبحسب قانون نيوتن الثالث، فإن الأرض تؤثر بقوة مساوية في الإطار نحو الأمام، مؤدية إلى تسارع الدراجة الهوائية إلى الأمام.

الفائدة الميكانيكية (MA) للآلة المُركّبة تساوي حاصل ضرب الفوائد الميكانيكية للآلات البسيطة التي تتكون منها، فمثلاً تكون الفائدة الآلية في حالة الدراجة الهوائية في **الشكل 13–4** على النحو الآتي:

$$MA = MA_{1\text{الآلة}} \times MA_{2\text{الآلة}}$$

$$MA = \left(\frac{F_{\text{ناقل الحركة على السلسلة}}}{F_{\text{السائق على الدوّاسة}}}\right)\left(\frac{F_{\text{الإطار على الطريق}}}{F_{\text{السلسلة على ناقل الحركة}}}\right) = \left(\frac{F_{\text{الإطار على الطريق}}}{F_{\text{السائق على الدواسة}}}\right)$$

إن الفائدة الميكانيكية المثالية IMA لكل آلة عجلة ومحور هي نسبة المسافات المقطوعة.

فبالنسبة للدوّاسة وناقل الحركة فإن:

$$IMA = \frac{\text{نصف قطر الدواسة}}{\text{نصف قطر ناقل الحركة الأمامي}}$$

وبالنسبة للإطار الخلفي فإن:

$$IMA = \frac{\text{نصف قطر ناقل الحركة الخلفي}}{\text{نصف قطر الإطار}}$$

وأمّا بالنسبة للدراجة الهوائية، فإن:

$$IMA = \left(\frac{\text{نصف قطر الدواسة}}{\text{نصف قطر ناقل الحركة الأمامي}}\right)\left(\frac{\text{نصف قطر ناقل الحركة الخلفي}}{\text{نصف قطر الإطار}}\right)$$

$$= \left(\frac{\text{نصف قطر ناقل الحركة الخلفي}}{\text{نصف قطر ناقل الحركة الأمامي}}\right)\left(\frac{\text{نصف قطر الدواسة}}{\text{نصف قطر الإطار}}\right)$$

ولأن ناقلي الحركة يستخدمان السلسلة نفسها ولهما حجم المسننات نفسه، فإنك تستطيع

تجربة

العجلة والمحور

يعمل ناقل الحركة في الدراجة الهوائية على مضاعفة المسافة التي تقطعها. فماذا يفعل بالنسبة للقوة؟

1. ثبت نظام العجلة والمحور على قضيب دعم قوي.
2. لف سلكًا طوله 1 m في اتجاه حركة عقارب الساعة حول المحور.
3. لف قطعة سلك أخرى طولها 1 m في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة حول العجلة التي لها قطر كبير.
4. علّق جسمًا كتلته 500 g من نهاية السلك على العجلة الأكبر.

تحذير: تجنب سقوط الجسم.

5. اسحب السلك من المحور إلى أسفل بحيث يرتفع الجسم مسافة 10 cm.

التحليل والاستنتاج

6. ماذا لاحظت على القوة التي أثرت بها في السلك الذي في يدك؟
7. ماذا لاحظت على المسافة التي تحتاج إليها يدك لرفع الجسم؟ وضح النتائج بدلالة الشغل المبذول على كل من السلكين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

حساب عدد المسننات لإيجاد (IMA) على النحو الآتي:

$$IMA=\left(\frac{\text{عدد مسننات ناقل الحركة الخلفي}}{\text{عدد مسننات ناقل الحركة الأمامي}}\right)\left(\frac{\text{طول ذراع الدواسة}}{\text{نصف قطر الإطار}}\right)$$

يُعدّ تغيير ناقل الحركة في الدراجة الهوائية طريقة لتعديل نسـبة أنصاف أقطار ناقل الحركة للحصول على الفائدة الميكانيكية المطلوبة. فإذا كانت دوّاسة الدراجة الهوائية في أعلى دورتها أو أسفلها، فإن مقدار القوة الرأسية التي تؤثر بها إلى الأسفل ليس مهمًّا؛ فالدوّاسة لن تدور. إن قوة قدمك تكون أكثر فاعلية عندما تؤثر القوة في اتجاه عمودي على ذراع الدوّاسة؛ حيث يكون عندها عزم الدوران أكبر ما يمكن. افترض دائمًا أن القوة المؤثرة في الدوّاسـة يكون اتجاهها عموديًّا على ذراعها، أي أنها تعطي أكبر عزم ممكن.

مثـــال 4

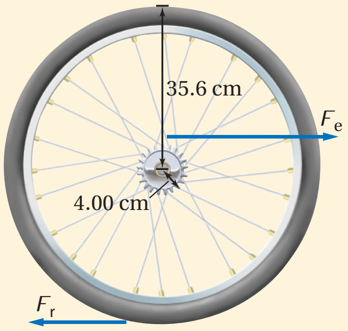
الفائدة الميكانيكية تفحصت الإطار الخلفي لدراجتك الهوائية فوجدت أن نصف قطره 35.6 cm، ونصف قطر ناقل الحركة 4.0 cm، وعندما تسحب السلسلة بقوة مقدارها 155 N فإن حافة الإطار تتحرك مسافة 14.0 cm، فإذا كانت كفاءة هذا الجزء من الدراجة الهوائية 95.0%، فاحسب مقدار:

a. الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) للإطار وناقل الحركة.

b. الفائدة الميكانيكية MA للإطار وناقل الحركة.

c. قوة المقاومة.

d. مسافة سحب السلسلة لتحريك حافة الإطار مسافة 14.0 cm.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخططًا توضيحيًّا للعجلة والمحور.
- ارسم المخطط التوضيحي لمتجهات القوة.

المعلوم	المجهول
$r_e = 4.00$ cm, $e = 95.0\,\%$	$IMA = ?$ $F_r = ?$
$r_r = 35.6$ cm, $d_r = 14.0$ cm	$MA = ?$ $d_e = ?$
$F_e = 155$ N	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. إيجاد الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA).

بالنسبة لآلة العجلة والمحور فإن IMA تساوي نسبة نصفي قطريهما.

$$IMA = \frac{r_e}{r_r}$$

عوض مستخدمًا $r_e = 4.00$ cm، $r_r = 35.6$ cm

$$= \frac{4.00\text{ cm}}{35.6\text{ cm}}$$

$$= 0.112$$

b. إيجاد الفائدة الميكانيكية MA.

دليل الرياضيات

فصل المتغير 215

$$e = \frac{MA}{IMA} \times 100$$

$$MA = \left(\frac{e}{100}\right) \times IMA$$

عوض مستخدمًا IMA = 0.112، e = 95.0%

$$MA = \left(\frac{95.0}{100}\right) \times 0.112 = 0.106$$

c. إيجاد القوة.

$$MA = \frac{F_r}{F_e}$$

عوض مستخدمًا $MA = 0.106$، $F_e = 155\ N$

$$F_r = [MA]\ [F_e] = [0.106]\ [155\ N] = 16.4\ N$$

d. إيجاد المسافة.

$$IMA = \frac{d_e}{d_r}$$

$$d_e = [IMA]\ [d_r]$$

عوض مستخدمًا $IMA = 0.112$، $d_r = 14.0\ cm$

$$= [0.112]\ [14.0\ cm] = 1.57\ cm$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس القوة بوحدة نيوتن، والمسافة بوحدة السنتمتر.
- **هل الجواب منطقي؟** الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) قليلة للدراجة الهوائية؛ لأنّه في مقابل قوة مسلطة (F_e) كبيرة نحصل على d_r كبيرة. وتكون MA أقل من IMA دائمًا. ولأن MA قليلة فإن F_r ستكون قليلة أيضًا. إن المسافة القليلة التي يتحركها المحور تقابلها مسافة كبيرة يتحركها الإطار، ولذا فإن d_e ينبغي أن تكون قليلة.

مسائل تدريبية

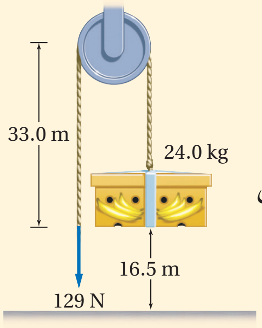
24. إذا تضاعف نصف قطر ناقل الحركة في الدراجة الهوائية في المثال 4، في حين بقيت القوة المؤثرة في السلسلة والمسافة التي تحركتها حافة الإطار دون تغيير، فما الكميات التي تتغير؟ وما مقدار التغير؟

25. تُستخدم مطرقة ثقيلة لطرق إسفين في جذع شجرة لتقسيمه، وعندما ينغرس الإسفين مسافة 0.20 m في الجذع فإنه ينفلق مسافة مقدارها 5.0 cm. إذا علمت أن القوة اللازمة لفلق الجذع هي $1.7 \times 10^4\ N$، وأن المطرقة تؤثر بقوة $1.1 \times 10^4\ N$، فاحسب مقدار:

a. الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) للإسفين.

b. الفائدة الميكانيكية (MA) للإسفين.

c. كفاءة الإسفين إذا اعتبرناه آلة.



الشكل 14–4

26. يستخدم عامل نظام بكرة عند رفع صندوق كرتون كتلته 24.0 kg مسافة 16.5 m كما في **الشكل 14–4**. فإذا كان مقدار القوة المؤثرة 129 N وسُحب الحبل مسافة 33.0 m.

a. ما مقدار الفائدة الميكانيكية (MA) لنظام البكرة؟

b. ما مقدار كفاءة النظام؟

27. إذا أثرت بقوة مقدارها 225 N في رافعة لرفع صخرة وزنها $1.25\times10^3\ N$ مسافة 13 cm، وكانت كفاءة الرافعة 88.7% فما المسافة التي تحركتها نهاية الرافعة من جهتك؟

28. تتكون رافعة من ذراع نصف قطره 45 cm، يتصل الذراع بأسطوانة نصف قطرها 7.5 cm، ملفوف حولها حبل، ومن الطرف الثاني للحبل يتدلى الثقل المراد رفعه. عندما تدور الذراع دورة واحدة، تدور الأسطوانة دورة واحدة أيضًا.

a. ما مقدار الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) لهذه الآلة؟

b. إذا كانت فاعلية الآلة 75 % فقط نتيجة تأثير قوة الاحتكاك، فما مقدار القوة التي يجب التأثير بها في مقبض الذراع ليؤثر بقوة مقدارها 750 N في الحبل؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

دراجة هوائية متعددة نواقل الحركة يستطيع السائق في الدراجة الهوائية المتعددة نواقل الحركة تغيير الفائدة الميكانيكية للآلة، وذلك باختيار الحجم المناسب لأحد ناقلي الحركة أو كليهما. ففي حالة التسارع أو صعود تلة فإن السائق يزيد الفائدة الميكانيكية المثالية لكي يزيد القوة التي يؤثر بها الإطار في الطريق. ولزيادة IMA يحتاج السائق إلى جعل نصف قطر ناقل الحركة الخلفي كبيرًا مقارنة بنصف قطر ناقل الحركة الأمامي (اعتمادًا على معادلة IMA). وهكذا عندما يؤثر السائق بالقوة نفسها يؤثر الإطار في الطريق بقوة أكبر، لكن على السائق أن يدور الدواسة عددًا أكبر من الدورات ليدور الإطار دورة واحدة.

من جهة أخرى، تحتاج قيادة الدراجة الهوائية بسرعة كبيرة على طريق مستوٍ إلى قوة أقل، ولذلك يتوجب على السائق اختيار مجموعة ناقل الحركة، بحيث يكون ناقل الحركة الخلفي صغيرًا وناقل الحركة الأمامي كبيرًا، وفي هذه الحالة تكون الفائدة الميكانيكية المثالية قليلة، أي أنه عندما يؤثر السائق بالقوة نفسها، فإن الإطار يؤثر في الطريق بقوة أقل، لكن لا يحتاج السائق إلى تدوير الدواسات بمقدار كبير لكل دورة واحدة للإطار.

يعمل ناقل الحركة في السيارة بالطريقة السابقة نفسها، فمثلاً تحتاج السيارة إلى قوة كبيرة لتكتسب تسارعًا عندما تبدأ الحركة من السكون، ولتحقيق ذلك يزيد ناقل الحركة من الفائدة الميكانيكية المثالية. أما عندما تكون السيارة متحركة بسرعة عالية فهي تحتاج إلى قوة صغيرة، للمحافظة على سرعتها، لذلك يقلل ناقل الحركة من الفائدة الميكانيكية المثالية. وعلى الرغم من أن عدّاد السرعة يشير إلى سرعة كبيرة، فإن عدّاد الدورات يشير إلى سرعة زاويّة صغيرة للمحرك.

آلة المشي البشرية The Human Walking Machine

يمكن توضيح حركة الجسم البشري بالمبادئ نفسها للقوة والشغل التي تصف كل أنواع الحركة، فجسم الإنسان أيضًا مزود بآلات بسيطة على هيئة رافعات تمنحه القدرة على السير والركض، إلا أن أنظمة الرافعات في جسم الإنسان أكثر تعقيدًا ولكل نظام منها الأجزاءُ الرئيسة الآتية:

1. قضيب صلب (العظام)

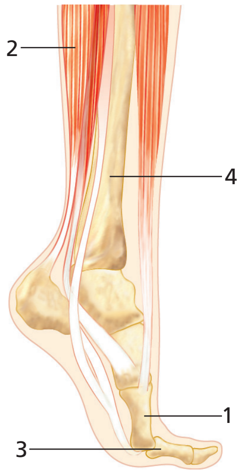
2. مصدر قوة (انقباض العضلات)

3. نقطة ارتكاز (المفاصل المتحركة بين العظام)

4. مقاومة (وزن جزء الجسم أو الشيء الذي يتم رفعه أو تحريكه)

يوضح **الشكل 15—4** الأجزاء المكونة لنظام الرافعة في قدم الإنسان. إن قيمة كفاءة النظام للروافع في جسم الإنسان ليست عالية، والفوائد الميكانيكية لها محدودة. وهذا يفسر حاجة الجسم إلى الطاقة (حرق السعرات الحرارية) في حال المشي أو العدو البطيء، مما يساعد الناس على تقليل الوزن.

الشكل 15—4 آلة المشي البشرية.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

عندما يسير الإنسان يعمل الورك بوصفه نقطة ارتكاز، ويتحرك عظم الورك خلال قوس دائري مركزه القدم، كما يتحرك مركز كتلة الجسم، باعتباره مقاومة، حول نقطة الارتكاز نفسها وعلى القوس نفسه، ويكون نصف قطر القوس الدائري هو طول الرافعة المكونة من عظام الساق. ويسعى الرياضيون في سباقات المشي إلى زيادة سرعتهم، وذلك بأرجحة الورك نحو الأعلى لزيادة نصف القطر.

إن الأشخاص الطوال القامة لديهم أنظمة رافعة فائدتها الميكانيكية أقل من الأشخاص القصار القامة، فعلى الرغم من أن الأشخاص الطوال القامة يستطيعون المشي أسرع من الأشخاص القصار القامة إلا أنه على الشخص الطويل التأثير بقوة أكبر لتحريك الرافعة الطويلة المكوّنة من عظام الساق.

فكيف يكون أداء الشخص الطويل في مسابقة المشي؟ وما العوامل التي تؤثر في أدائه؟ بسبب طول المسافة في سباقات المشي 20 km أو 50 km، وانخفاض كفاءة أنظمة الرافعة لدى الطوال القامة وطول مضمار المشي؛ لذا تقل لديهم القدرة على الاحتمال والمواصلة للفوز.

2–4 مراجعة

29. الآلات البسيطة صنف الأدوات أدناه إلى رافعة، أو عجلة ومحور، أو مستوى مائل، أو إسفين، أو بكرة.

a. مفك براغي
b. كمّاشة
c. إزميل
d. نزّاعة الدبابيس

30. الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) يتفحص عامل نظام بكرات متعددة؛ وذلك لتقدير أكبر جسم يمكن أن يرفعه. فإذا كانت أكبر قوة يمكن للعامل التأثير بها رأسيًّا إلى أسفل مساوية لوزنه 875 N، وعندما يحرك العامل الحبل مسافة 1.5 m فإن الجسم يتحرك مسافة 0.25 m، فما وزن أثقل جسم يمكنه رفعه؟

31. الآلات المُركّبة للونش ذراع نصف قطر دورانه 45 cm، يُدوِّر أسطوانة نصف قطرها 7.5 cm خلال مجموعة من نواقل الحركة، بحيث يدور الذراع ثلاث دورات لتدور الأسطوانة دورة واحدة. فما مقدار الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) لهذه الآلة المُركّبة؟

32. الكفاءة إذا رفعت كفاءة آلة بسيطة، فهل تزداد الفائدة الميكانيكية (MA)، والفائدة الميكانيكية المثالية (IMA)، أم تنقص، أم تبقى ثابتة؟

33. التفكير الناقد تتغير الفائدة الميكانيكية لدراجة هوائية متعددة نواقل الحركة بتحريك السلسلة بحيث تُدوّر ناقل حركة خلفيًّا مناسبًا.

a. عند الانطلاق بالدراجة عليك أن تؤثر في الدراجة بأكبر قوة ممكنة؛ لتكسبها تسارعًا، فهل ينبغي أن تختار ناقل حركة صغيرًا أم كبيرًا؟

b. إذا وصلت إلى مقدار السرعة المناسب وأردت تدوير الدواسة بأقل عدد ممكن من الدورات، فهل تختار ناقل حركة كبيرًا أم صغيرًا؟

c. بعض أنواع الدراجات الهوائية تمنحك فرصة اختيار حجم ناقل الحركة الأمامي. فإذا كنت بحاجة إلى قوة أكبر لتحدث تسارعًا في أثناء صعودك تلًّا، فهل تتحول إلى ناقل الحركة الأمامي الأصغر أم الأكبر؟

مختبر الفيزياء

صعود السلّم والقدرة

هل تستطيع أن تقدّر القدرة التي تولدها عندما تصعد عدة درجات بشكل متواصل؟ يحتاج صعود السلالم إلى طاقة؛ فعندما يتحرك الجسم مسافة ما فهناك شغل يبذل. وتكون القدرة مقياسًا لمعدل الشغل المبذول. ستحاول في هذا النشاط زيادة القدرة التي تولدها؛ وذلك بتطبيق قوة رأسية وأنت تصعد درجات السلّم خلال فترة زمنية.

سؤال التجربة

ماذا تستطيع أن تفعل لزيادة القدرة التي تولدها عندما تصعد مجموعة من درجات السلّم؟

الأهداف

- **تتوقع** العوامل التي تؤثر في القدرة.
- **تحسب** القدرة المتولدة.
- **تنشئ وتستخدم رسوما بيانية لكل من:** الشغل– الزمن، والقدرة – الشغل، والقدرة – الزمن
- **تفسر** القوة، والمسافة، والشغل، والزمن وبيانات القدرة.
- **تُعرِّف** القدرة عمليًّا (تعريفًا إجرائيًّا).

احتياطات السلامة

- **لا ترتد ملابس فضفاضة لتجنب التعثر والسقوط.**

المواد والأدوات

مسطرة مترية (أو شريط قياس)

ساعة إيقاف

ميزان منزلي

الخطوات

1. قِس كتلة كل شخص في مجموعتك باستخدام الميزان وسجلها بوحدة الكيلوجرام. (إذا كانت وحدة القياس على الميزان هي الباوند فاستخدم المعادلة الآتية للتحويل $(2.2\ lbs = 1\ kg)$
2. قِس المسافة الرأسية التي تقطعها عندما تصعد مجموعة الدرجات (من سطح الأرض إلى أعلى مجموعة درجات السلّم) وسجّل القيمة في جدول البيانات.
3. اطلب إلى كل شخص في مجموعتك أن يصعد درجات السلّم بالطريقة التي يعتقد أنه سيزيد خلالها القدرة المتولدة.
4. استخدم ساعة الإيقاف لقياس الزمن الذي يحتاج إليه كل شخص لتنفيذ هذه المهمة، وسجل بياناتك في جدول البيانات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

جدول البيانات					
الكتلة (kg)	الوزن (N)	المسافة (m)	الشغل المبذول (J)	الزمن (s)	القدرة الناتجة (W)

التحليل

1. **احسب** أوجد وزن كل شخص بوحدة النيوتن، وسجِّله في جدول البيانات.
2. احسب الشغل المبذول من كل شخص.
3. احســب القدرة المتولدة لكل شخص في مجموعتك عندما يصعد درجات السلّم.
4. **أنشئ الرسم البياني واستخدمه** استخدم البيانات التي قمت بحسابها لعمل رسم بياني للشغل – الزمن، ثم ارسم أفضل خط ممثل للنقاط.
5. ارسم رسمًا بيانيًّا للقدرة – الشغل، ثم ارسم أفضل خط ممثل للنقاط.
6. ارسم رســمًا بيانيًّا للقدرة – الزمن، ثم ارسم أفضل خطّ ممثل للنقاط. .

الاستنتاج والتطبيق

1. هل معدل قدرة أفراد مجموعتك متساوٍ؟ ولماذا؟
2. أيّ الرسوم البيانية تظهر علاقة واضحة ومحددة بين متغيرين؟
3. فسر سبب وجود هذه العلاقة.
4. اكتب تعريفًا عمليًّا للقدرة.

التوسع في البحث

1. اذكر ثلاثة أشياء يمكن تنفيذها لزيادة القدرة التي تولدها حينما تصعد درجات السلم.
2. لماذا لا يُعد بالضرورة أسرع شــخص صعد السلم هو الشخص الذي أنتج أكبر قدرة؟
3. لماذا لا يُعد بالضرورة أفراد مجموعتك الذين لهم كتلة كبيرة هم من أنتجوا أكبر قدرة؟
4. قارن بين بياناتك وبيانات المجموعات الأخرى في صفك.

الفيزياء في الحياة

1. ابحث عن أدوات منزلية لها معدل قدرة مساوٍ للقدرة التي أنتجتها عند صعودك السلم أو أقل.
2. افترض أن شركة الكهرباء في منطقتك تزودك بقدرة كهربائية تكلفتها 0.1 SR /kWh ، فإذا كنت تتقاضى مالًا بالمعدل نفسه للقدرة التي تولدها عند صعودك السلم، فما مقدار المال الذي ستكسبه عند صعودك السلم مدة 1 h؟
3. إذا أردت أن تصمّم آلة صعود سلالم لنادي الصحة العامة، وقررت أن يكون لها آلية لحساب القدرة المتولدة، فما المعلومات التي تحتاج إليها لتصمم الآلة؟ وما المعلومات التي ستضمنها الآلة لكي يعرف الشخص مقدار القدرة التي ولّدها عند صعوده السلم؟

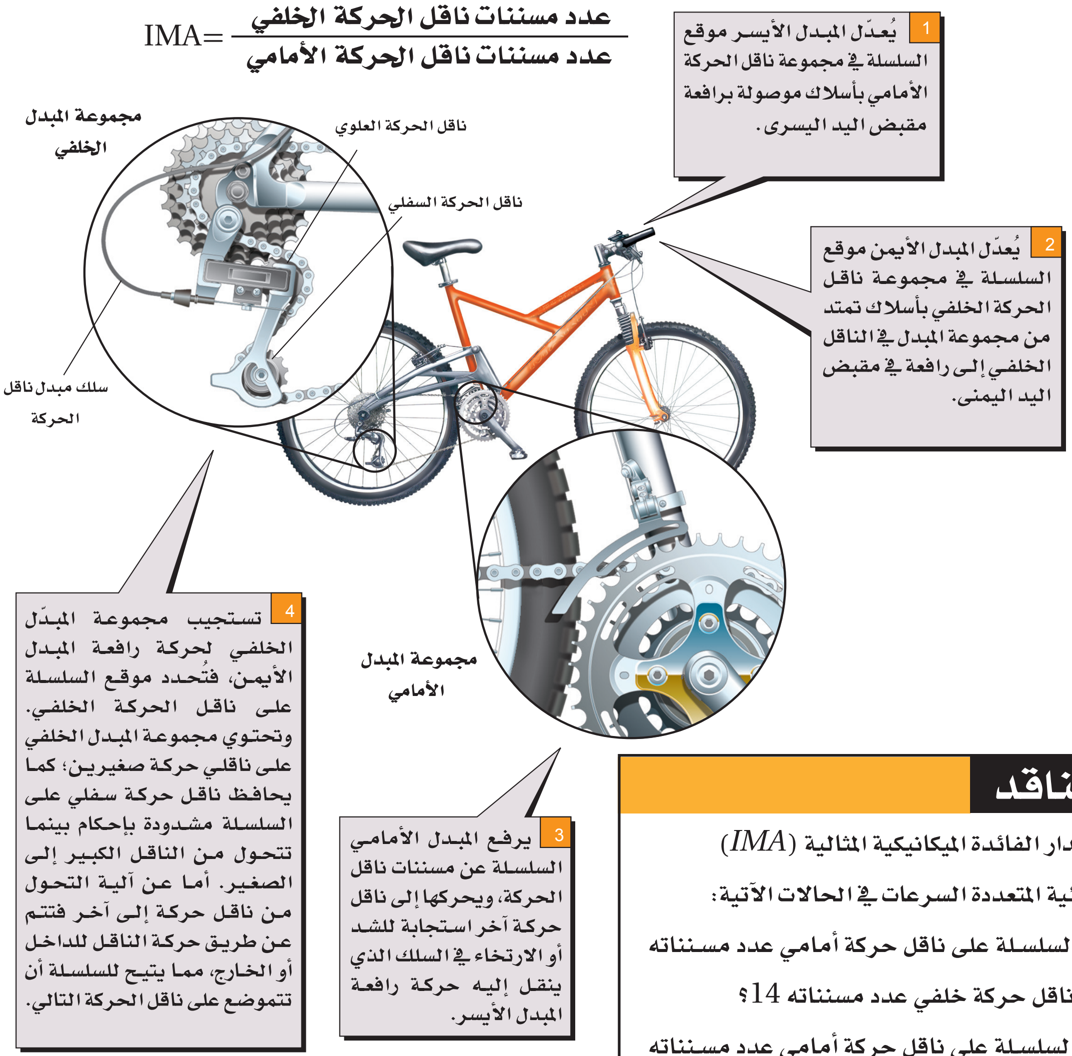
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

كيف تعمل

مجموعات نواقل الحركة (مبدلات السرعة) في الدراجة الهوائية؟
Bicycle Gear shifters

تستخدم المبدلات الأمامية والخلفية لنقل السلسلة في الدراجة الهوائية المتعددة السرعات، والتي عادة ما تكون مزودة باثنين أو ثلاثة نواقل حركة أمامية ومن خمسة إلى ثمانية نواقل حركة خلفية؛ إذ يؤدي تغيير توليفة نواقل الحركة الأمامية والخلفية إلى تغيير الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) للنظام؛ فالفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) الكبيرة تعمل على تقليل الجهد (القوة) اللازم لصعود التلال. أما الفائدة الميكانيكية المثالية القليلة فتُساعد على الحركة بسرعة كبيرة على الأرض المستوية، إلا أنها تزيد من الجهد (القوة) المطلوب في هذه الحالة.

$$IMA = \frac{\text{عدد مسننات ناقل الحركة الخلفي}}{\text{عدد مسننات ناقل الحركة الأمامي}}$$



التفكير الناقد

1. **احسب** ما مقدار الفائدة الميكانيكية المثالية (*IMA*) للدراجة الهوائية المتعددة السرعات في الحالات الآتية:
   a. عند وضع السلسلة على ناقل حركة أمامي عدد مسنناته 52، وعلى ناقل حركة خلفي عدد مسنناته 14؟
   b. عند وضع السلسلة على ناقل حركة أمامي عدد مسنناته 42 ، وعلى ناقل حركة خلفي عدد مسنناته 34؟
2. **طبّق** أي الحالتين a أو b في المسألة السابقة تختار أن تطبقها عند التسابق مع صديقك على أرض مستوية؟ وأي حالة تختار أن تطبقها عند صعود تل شديد الانحدار؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 4

دليل مراجعة الفصل

4–1 الطاقة والشغل Energy and Work

المفردات

- الشغل
- الطاقة
- الطاقة الحركية
- نظرية الشغل والطاقة
- الجول
- القدرة
- الواط

المفاهيم الرئيسة

- الشغل هو انتقال الطاقة بطرائق ميكانيكية. $W = Fd$
- للجسم المتحرك طاقة حركية. $KE = \frac{1}{2}mv^2$
- الشغل المبذول على نظام يساوي التغير في طاقة النظام. $W = \Delta KE$
- الشغل يســاوي حاصل ضرب القوة المؤثرة في جسم ما في الإزاحة التي يتحركها الجسم في اتجاه القوة.
  $$W = Fd \cos \theta$$
- يمكن تحديد الشغل المبذول بحساب المساحة تحت المنحنى البياني للقوة – الإزاحة.
- القدرة هي معدل بذل الشغل، أي المعدل الذي تنتقل خلاله الطاقة.
  $$P = W/t$$

4–2 الآلات Machines

المفردات

- الآلة
- القوة (المسلّطة)
- المقاومة
- الفائدة الميكانيكية
- الفائــدة الميكانيكية المثالية
- الكفاءة
- الآلة المركّبة

المفاهيم الرئيسة

- لا تغير الآلات من الشــغل المبذول سواء تم تشــغيلها بمحركات أو بقوى بشرية، ولكنها تجعل إنجاز المهمة أسهل.
- تخفّف الآلات الحمل (أثر المقاومة)، وذلك بتغيير مقدار القوة اللازمة لإنجاز الشغل أو اتجاهها.
- الفائدة الميكانيكية (MA) هي نسبة المقاومة إلى القوة (المسلّطة).
  $$MA = F_r / F_e$$
- الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA) هي النسبة بين المسافات المقطوعة.
  $$IMA = d_e / d_r$$
- كفاءة الآلة هي نسبة الشغل الناتج إلى الشغل المبذول.
  $$e = \frac{W_o}{W_i} \times 100$$
- تكون الفائدة الميكانيكية (MA) لجميع الآلات عــلى أرض الواقع أقل من الفائدة الميكانيكية المثالية (IMA).
- يمكن إيجاد كفاءة الآلة من الفائدتين الميكانيكيتين الحقيقية الفعلية والمثالية.
  $$e = \frac{MA}{IMA} \times 100$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

التقويم

خريطة المفاهيم

.34 كوّن خريطة مفاهيم مستخدمًا المصطلحات الآتية: القوة، الإزاحة، اتجاه الحركة، الشغل، التغير في الطاقة الحركية.

إتقان المفاهيم

.35 ما وحدة قياس الشغل؟ (1–4)

.36 افترض أن قمرًا صناعيًّا يدور حول الأرض في مدار دائري، فهل تبذل قوة الجاذبية الأرضية أي شغل على القمر؟ (1–4)

.37 ينزلق جسم بسرعة ثابتة على سطح عديم الاحتكاك. ما القوى المؤثرة في الجسم؟ وما مقدار الشغل الذي تبذله كل قوة؟ (1–4)

.38 عرّف كلًّا من الشغل والقدرة؟ (1–4)

.39 ماذا تكافئ وحدة الواط بدلالة وحدات الكيلوجرام والمتر والثانية؟ (1–4)

.40 وضّح العلاقة بين الشغل المبذول والتغير في الطاقة. (1–4)

.41 هل يمكن لآلة ما أن تُعطي شغلاً ناتجًا أكبر من الشغل المبذول عليها. (2–4)

.42 فسر كيف يمكن اعتبار الدواسات التي في الدراجة الهوائية آلة بسيطة؟ (2–4)

تطبيق المفاهيم

.43 أي الحالتين الآتيتين تتطلب بذل شغل أكبر: حمل حقيبة ظهر وزنها 420 N إلى أعلى تل ارتفاعه 200 m، أو حمل حقيبة ظهر وزنها 210 N إلى أعلى تل ارتفاعه 400 m؟ ولماذا؟

.44 **الرفع** يقع صندوق كتب تحت تأثير قوتين في أثناء رفعك له عن الأرض لتضعه على سطح طاولة؛ إذ تؤثر فيه الجاذبية الأرضية بقوة مقدارها (mg) إلى أسفل، وتؤثر فيه أنت بقوة مقدارها (mg) إلى أعلى. ولأن هاتين القوتين متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه فيبدو كأنه لا يوجد شغل مبذول، ولكنك تعلم أنك بذلت شغلاً. فسِّر ما الشغل الذي بُذل؟

.45 يحمل عامل صناديق كرتونية إلى أعلى السلم ثم يحمل صناديق مماثلة لها في الوزن إلى أسفله. غير أن معلم الفيزياء يرى أن هذا العامل لم "يشتغل" مطلقًا؛ لذا فإنه لا يستحق أجرًا. فكيف يمكن أن يكون المعلم على صواب؟ وكيف يمكن إيجاد طريقة ليحصل بها العامل على أجره؟

.46 إذا حمل العامل في المسألة السابقة الكراتين إلى أسفل درج، ثم سار بها مسافة 15 m في ممر، فهل يبذل شغلاً الآن؟ فسر إجابتك.

.47 **صعود الدرج** يصعد شخصان لهما الكتلة نفسها العدد نفسه من الدرجات. فإذا صعد الشخص الأول الدرجات خلال 25 s، وصعد الشخص الثاني الدرجات خلال 35 s،

a. فأي الشخصين بذل شغلاً أكبر؟ فسر إجابتك.

b. أي الشخصين أنتج قدرة أكثر؟ فسر إجابتك.

.48 وضح أن القدرة المنقولة يمكن كتابتها على النحو الآتي: $P = Fv\cos\theta$

.49 كيف تستطيع زيادة الفائدة الميكانيكية المثالية لآلة؟

.50 **الإسفين** كيف تستطيع زيادة الفائدة الميكانيكية للإسفين دون تغيير فائدته الميكانيكية المثالية؟

.51 **المدارات** فسر لماذا لا يتعارض دوران كوكب حول الشمس مع نظرية الشغل والطاقة؟

.52 **المطرقة ذات الكماشة** تستخدم المطرقة ذات الكماشة لسحب مسمار من قطعة خشب كما في **الشكل 16-4**

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

فأين ينبغي أن تضع يدك على المقبض؟ وأين ينبغي أن يكون موقع المسمار بالنسبة لطرفي الكماشة لجعل القوة (المسلطة) أقل ما يمكن؟

الشكل 16–4

إتقان حل المسائل

1–4 الطاقة والشغل

.53 يبلغ ارتفاع الطابق الثالث لمنزل 8 m فوق مستوى الشارع. ما مقدار الشغل اللازم لنقل ثلاجة كتلتها 150 kg إلى الطابق الثالث؟

.54 يبذل ماهر شغلاً مقداره 176 J لرفع نفسه مسافة 0.300 m. ما كتلة ماهر؟

.55 **كرة قدم** بعد أن سجل لاعبٌ كتلته 84.0 kg هدفًا، قفز مسافة 1.20 m فوق سطح الأرض فرحًا. ما الشغل الذي بذله اللاعب؟

.56 **لعبة شد الحبل** بذل الفريق A خلال لعبة شد الحبل شغلاً مقداره 2.20×10^3 J عند سحب الفريق B مسافة 2.00 m، فما مقدار القوة التي أثر بها الفريق A؟

.57 تسير سيارة بسرعة ثابتة، في حين يؤثر محركها بقوة مقدارها 551 N لموازنة قوة الاحتكاك، والمحافظة على ثبات السرعة. ما مقدار الشغل الذي تبذله السيارة ضد قوة الاحتكاك عند انتقالها بين مدينتين تبعدان مسافة 161 km إحداهما عن الأخرى؟

.58 **قيادة الدراجة** يؤثر سائق دراجة هوائية بقوة مقدارها 15.0 N عندما يقود دراجته مسافة 251 m لمدة 30.0 s ما مقدار القدرة التي ولدها؟

.59 يرفع أمين مكتبة كتابًا كتلته 2.2 kg من الأرض إلى ارتفاع 1.25 m، ثم يحمل الكتاب ويسير مسافة 8.0 m إلى رفوف المكتبة، ويضع الكتاب على رف يرتفع مسافة 0.35 m فوق مستوى الأرض. ما مقدار الشغل الذي بذله على الكتاب؟

.60 تستخدم قوة مقدارها 300.0 N لدفع جسم كتلته 145 kg أفقيًّا مسافة 30.0 m خلال 3.00 s.

a. احسب مقدار الشغل المبذول على الجسم.

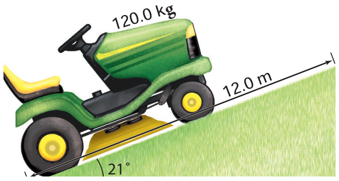
b. احسب مقدار القدرة المتولدة.

.61 **العربة** يتم سحب عربة عن طريق التأثير في مقبضها بقوة مقدارها 38.0 N، وتصنع زاوية 42.0° مع خط الأفق، فإذا سحبت العربة بحيث أكملت مسارًا دائريًّا نصف قطره 25.0 m، فما مقدار الشغل المبذول؟

.62 **مجزّ العشب** يدفع عامل مجز عشب بقوة مقدارها 88.0 N، مؤثرًا في مقبضه الذي يصنع زاوية 41.0° على الأفقي. ما مقدار الشغل الذي يبذله العامل في تحريك المِجزّ مسافة 1.2 km لجزّ العشب في فناء المنزل؟

.63 يلزم بذل شغل مقداره 1210 J لسحب قفص كتلته 17.0 kg مسافة 20.0 m. فإذا تم إنجاز الشغل بربط القفص بحبل وسحبه بقوة مقدارها 75.0 N، فما مقدار زاوية ربط الحبل بالنسبة للأفقي؟

.64 **جرّار زراعي** يصعد جرّار زراعي كتلته 120.0 kg أعلى طريق مائل بزاوية 21° على الأفقي كما في **الشكل 17–4**، فإذا قطع الجرار مسافة 12.0 m بسرعة ثابتة خلال 2.5 s، فاحسب القدرة التي أنتجها الجرّار.

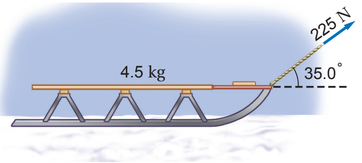


الشكل 17–4

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

.65 إذا كنت تدفع صندوقًا إلى أعلى مستوى يميل بزاوية 30.0° على الأفقي عن طريق التأثير فيه بقوة مقدارها 225 N في اتجاه موازٍ للمستوى المائل، فتحرك الصندوق بسرعة ثابتة، وكان معامل الاحتكاك يساوي 0.28، فما مقدار الشغل الذي بذلته على الصندوق إذا كانت المسافة الرأسية المقطوعة 1.15 m؟

.66 **زلّاجة** يسحب شخص زلاجة كتلتها 4.5 kg على جليد بقوة مقدارها 225 N بحبل يميل بزاوية 35.0° على الأفقي كما في **الشكل 18–4**. فإذا تحركت الزلاجة مسافة 65.3 m، فما مقدار الشغل الذي بذله الشخص؟



الشكل 18–4

.67 **درج كهربائي** يقف شخص كتلته 52 kg على درج كهربائي طوله 227 m، ويميل 31° على الأفقي في متنزه المحيط في مدينة هونج كونج والذي يعد أطول درج كهربائي في العالم. ما مقدار الشغل الذي يبذله الدرج على الشخص؟

.68 **مدحلة العشب** تُدفع مدحلة عشب بقوة مقدارها 115 N في اتجاه مقبضها الذي يميل بزاوية 22.5° على الأفقي، فإذا أنتجت قدرة 64.6 W لمدة 90.0 s، فما مقدار المسافة التي دفعتها المدحلة؟

.69 يدفع عامل صندوقًا على أرضية مصنع متغيرة الخشونة بقوة أفقية، حيث يجب على العامل أن يؤثر بقوة مقدارها 20 N لمسافة 5 m، ثم بقوة مقدارها 35 N لمسافة 12 m، وأخيرًا يؤثر بقوة مقدارها 10 N مسافة 8 m.

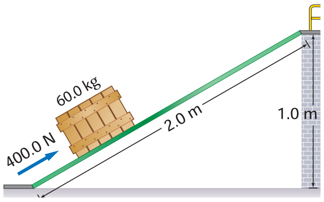
a. ارسم المنحنى البياني للقوة – المسافة.

b. ما مقدار الشغل الذي بذله العامل لدفع الصندوق؟

.70 يدفع شخص صندوقًا كتلته 60.0 kg إلى أعلى مستوى مائل طوله 2.0 m متصل بمنصة أفقية ترتفع 1.0 m فوق مستوى الأرض، كما في **الشكل 19–4**. حيث تلزم قوة مقدارها 400.0 N تؤثر في اتجاه يوازي المستوى المائل لدفع الصندوق إلى أعلى المستوى بسرعة ثابتة المقدار.

a. ما مقدار الشغل الذي بذله الشخص في دفع الصندوق إلى أعلى المستوى المائل؟

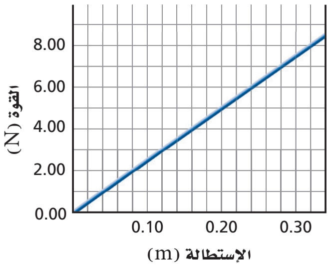
b. ما مقدار الشغل الذي يبذله الشخص إذا رفع الصندوق رأسيًّا إلى أعلى من سطح الأرض إلى المنصة؟



الشكل 19–4

.71 **محرك القارب** يدفع محركٌ قاربًا على سطح الماء بسرعة ثابتة مقدارها 15 m/s، ويجب أن يؤثر المحرك بقوة مقدارها 6.0 kN ليوازن قوة مقاومة الماء لحركة القارب. ما قدرة محرّك القارب؟

.72 يوضح الرسم البياني في **الشكل 20–4** منحنى القوة – الاستطالة (المسافة التي يستطيلها النابض تحت تأثير القوة) لنابض معين.



الشكل 20–4

a. احسب ميل المنحنى البياني k، وبيّن أن $F = kd$، حيث $k = 25\ N/m$.

b. احسب مقدار الشغل المبذول في استطالة النابض من 0.00 m إلى 0.20 m، وذلك بحساب المساحة تحت المنحنى البياني من 0.00 m إلى 0.20 m.

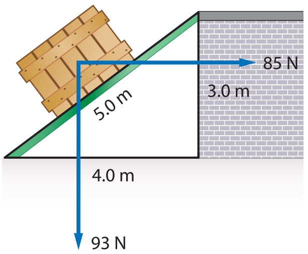
c. بيّن أن إجابة الفرع (b) يمكن التوصل إليها باستخدام المعادلة $W = \frac{1}{2}kd^2$ ، حيث تمثل

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

W الشغل، و $k = 25\ N/m$ (ميل المنحنى البياني)، و d مسافة استطالة النابض (0.20 m).

73. استخدم الرسم البياني في **الشكل 20–4** لإيجاد الشغل اللازم لاستطالة النابض من 0.12 m إلى 0.28 m.

74. يدفع عامل صندوقًا يزن 93 N إلى أعلى مستوى مائل، لكن اتجاه دفع العامل أفقي يوازي سطح الأرض. انظر **الشكل 21–4**.



■ **الشكل 21–4**

a. إذا أثَّر العامل بقوة مقدارها 85 N، فما مقدار الشغل الذي يبذله؟

b. ما مقدار الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية الأرضية؟ (انتبه إلى الإشارات التي تستخدمها).

c. إذا كان معامل الاحتكاك الحركي 0.20، فما مقدار الشغل الذي تبذله قوة الاحتكاك؟ (انتبه إلى الإشارات التي تستخدمها).

75. **مضخة الزيت** تضخ مضخة $0.550\ m^3$ من الزيت خلال 35.0 s في برميل يقع على منصة ترتفع 25.0 m فوق مستوى أنبوب السحب. فإذا كانت كثافة الزيت $0.820\ g/cm^3$، فاحسب:

a. الشغل الذي تبذله المضخة.

b. القدرة التي تولدها المضخة.

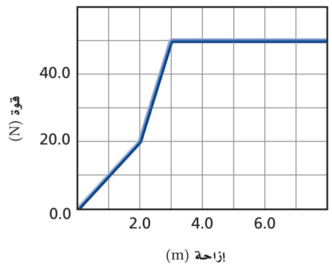
76. **حزام نقل** يُستخدم حزام نقل طوله 12.0 m يميل بزاوية $30.0°$ على الأفقي؛ لنقل حزم من الصحف من غرفة البريد إلى مبنى الشحن. فإذا كانت كتلة كل صحيفة 1.0 kg، وتتكون كل حزمة من 25 صحيفة، فاحسب القدرة التي يولدها حزام النقل إذا كان ينقل 15 حزمة في الدقيقة.

77. تسير سيارة على الطريق بسرعة ثابتة مقدارها 76 km/h. فإذا كان محرك السيارة يولد قدرة مقدارها 48 kW، فاحسب متوسط القوة التي تقاوم حركة السيارة.

78. يوضح الرسم البياني في **الشكل 22–4** منحنى القوة والإزاحة لعملية سحب جسم.

a. احسب الشغل المبذول لسحب الجسم مسافة 7.0 m.

b. احسب القدرة المتولدة إذا تم إنجاز الشغل خلال 2.0 s.



■ **الشكل 22–4**

4–2 الآلات

79. رفع شخص صندوقًا وزنه 1200 N مسافة 5.00 m باستخدام مجموعة بكرات، بحيث سحب 20.0 m من الحبل، فما مقدار:

a. القوة (المسلّطة) التي سيطبقها شخص إذا كانت هذه الآلة مثالية؟

b. القوة المستخدمة لموازنة قوة الاحتكاك إذا كانت القوة الفعلية (المسلّطة) 340 N؟

c. الشغل الناتج؟

d. الشغل المبذول؟

e. الفائدة الميكانيكية؟

80. **الرافعة** تُعد الرافعة آلة بسيطة ذات فاعلية كبيرة جدًّا؛ وذلك بسبب ضآلة قوة الاحتكاك فيها، فإذا استخدمت رافعة فاعليتها 90%، فما مقدار الشغل اللازم بذله لرفع جسم كتلته 18.0 kg مسافة 0.50 m؟

81. يُستخدم نظام بكرة لرفع جسم وزنه 1345 N مسافة

m 0.975، حيث يسحب شخص الحبل مسافة m 3.90 عن طريق التأثير فيه بقوة مقدارها N 375.

a. ما مقدار الفائدة الميكانيكية المثالية للنظام؟

b. ما مقدار الفائدة الميكانيكية؟

c. ما كفاءة النظام؟

82. تؤثر قوة مقدارها N 1.4 مسافة cm 40.0 في حبل متصل برافعة لرفع جسم كتلته kg 0.50 مسافة cm 10.0. احسب كلاً مما يلي:

a. الفائدة الميكانيكية MA.

b. الفائدة الميكانيكية المثالية IMA.

c. الكفاءة.

83. يؤثر طالب بقوة مقدارها N 250 في رافعة، مسافة m 1.6 فيرفع صندوقًا كتلته kg 150. فإذا كانت كفاءة الرافعة %90، فاحسب المسافة التي ارتفعها الصندوق؟

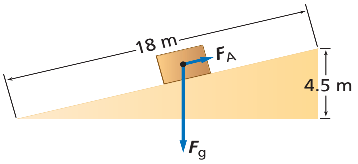
84. ما مقدار الشغل اللازم لرفع جسم كتلته kg 215 مسافة m 5.65 باستخدام آلة كفاءتها % 72.5؟

85. إذا كان طول المستوى المائل m 18 كما في **الشكل 23–4**، وارتفاعه m 4.5، فاحسب ما يأتي:

a. مقدار القوة الموازية للمستوى المائل F_A اللازمة لسحب صندوق كتلته kg 25 بسرعة ثابتة إلى أعلى المستوى المائل إذا أهملنا قوة الاحتكاك.

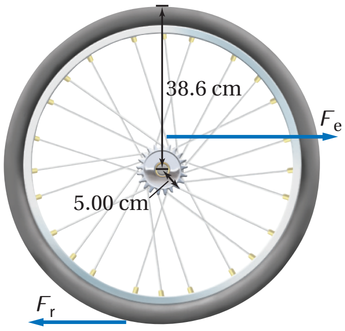
b. الفائدة الميكانيكية المثالية للمستوى المائل.

c. الفائدة الميكانيكية الحقيقية MA وكفاءة المستوى المائل إذا لزمت قوة مقدارها N 75 في اتجاه موازٍ لسطح المستوى المائل لإنجاز العمل.



■ الشكل 23–4

86. **الدراجة الهوائية** يُحرك صبي دوّاسات (بدّالات) دراجة هوائية نصف قطر ناقل الحركة فيها cm 5.00، ونصف قطر إطارها cm 38.6 كما في **الشكل 24–4**، فإذا دار الإطار دورة واحدة، فما طول السلسلة المستخدمة؟



■ الشكل 24–4

87. **الونش** يشغل محرك كفاءته %88 ونشًا كفاءته %42 . فإذا كانت القدرة المزوّدة للمحرك kW 5.5، فما السرعة الثابتة التي يرفع الونش فيها صندوقًا كتلته kg 410؟

88. تتكون آلة مركّبة من رافعة متصلة بنظام بكرات. فإذا كانت هذه الآلة المركّبة في حالتها المثالية تتكون من رافعة فائدتها الميكانيكية المثالية 3.0، ونظام بكرة فائدتها الميكانيكية المثالية 2.0.

a. فأثبت أن الفائدة الميكانيكية المثالية IMA للآلة المركّبة تساوي 6.0.

b. وإذا كانت كفاءة الآلة المركّبة %60 ، فما مقدار القوة (المسلّطة) التي يجب التأثير بها في الرافعة لرفع صندوق وزنه N 540؟

c. إذا تحركت جهة تأثير القوة من الرافعة مسافة cm 12.0، فما المسافة التي رُفع إليها الصندوق؟

مراجعة عامة

89. **المستويات المائلة** إذا أرادت فتاة نقل صندوق إلى منصة ترتفع m 2.0 عن سطح الأرض، ولديها الخيار أن

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تستخدم مستوى مائلاً طوله 3.0 m أو مستوى مائلاً طوله 4.0 m، فأي المستويين ينبغي أن تستخدم الفتاة إذا أرادت أن تبذل أقل مقدار من الشـــغل، علمًا بأن المستويين عديما الاحتكاك؟

90. يرفع لاعب ثقلاً كتلته 240 kg مسافة 2.35 m.

a. ما مقدار الشغل الذي يبذله اللاعب لرفع الثقل؟

b. ما مقدار الشغل الذي يبذله اللاعب للإمساك بالثقل فوق رأسه؟

c. ما مقدار الشغل الذي يبذله اللاعب لإنزال الثقل مرة أخرى على الأرض؟

d. هل يبذل اللاعب شغلاً إذا ترك الثقل يسقط في اتجاه الأرض؟

e. إذا رفــع اللاعب الثقل خلال 2.5 s، فما مقدار قدرته على الرفع؟

91. يتطلب جر صندوق عبر أرض أفقية بسرعة ثابتة قوة أفقية مقدارها 805 N. فإذا ربطت الصندوق بحبل، وسحبته، بحيث يميل الحبل بزاوية $32°$ على الأفقي.

a. فما مقدار القوة التي تؤثر بها في الحبل؟

b. وما مقدار الشغل الذي بذلته على الصندوق إذا حركته مسافة 22 m؟

c. إذا حركت الصنـــدوق خلال 8.0 s، فما مقدار القدرة الناتجة؟

92. **العربة والمستوى المائل** تُستخدم عربة متحركة لنقل ثلاجة كتلتها 115 kg إلى منزل، وقد وضعت العربة التي تحمل الثلاجة على مســتوى مائل، ثم سحبت بمحرك يسلط عليها قوة مقدارها 496 N، فإذا كان طول المســتوى المائل 2.10 m، وارتفاعه 0.85 m، وكونت العربة والمستوى المائل آلة، فاحسب كلًّا مما يأتي:

a. مقدار الشغل الذي يبذله المحرك.

b. مقدار الشغل المبذول على الثلاجة من خلال الآلة.

c. كفاءة الآلة؟

93. تبذل سمر شغلاً مقداره 11.4 kJ، لجر صندوق خشبي بحبل مسافة 25.0 m على أرضية غرفة بسرعة ثابتة المقدار، حيث يصنع الحبل زاوية $48.0°$ على الأفقي.

a. ما مقدار القوة التي يؤثر بها الحبل في الصندوق؟

b. ما مقدار قوة الاحتكاك المؤثرة في الصندوق؟

c. ما مقدار الشغل المبذول من أرضية الغرفة بواسطة قوة الاحتكاك بين الأرض والصندوق؟

94. **تزلج** سحبت مزلجة (عربة التنقل على الجليد) وزنها 845 N مســـافة 185 m، حيث تطلبت هذه العملية بذل شـــغل مقداره 1.20×10^4 J عن طريق التأثير بقوة سحب مقدارها 125 N في حبل مربوط بالمزلجة. ما مقدار الزاوية التي يصنعها الحبل بالنسبة للأفقي؟

95. يسحب ونش كهربائي صندوقًا وزنه 875 N إلى أعلى مستوى يميل بزاوية $15°$ على الأفقي وبسرعة مقدارها 0.25 m/s. إذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الصندوق والمستوى المائل 0.45، فأجب عن الآتي:

a. ما القدرة التي أنتجها الونش؟

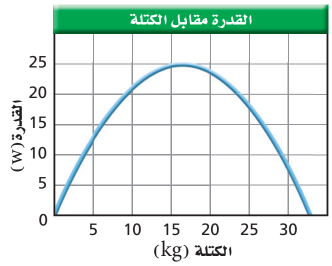
b. إذا كانت كفاءة الونش 85%، فما القدرة الكهربائية التي يجب تزويد الونش بها؟

التفكير الناقد

96. **حلّل ثم استنتج** افترض أنك تعمل في مستودع، وتقوم بحمل صناديق إلى طابق التخزين الذي يرتفع 12 m فوق سطح الأرض، ولديك 30 صندوقًا كتلتها الكلية 150 kg يجب نقلها بأقصى سرعة ممكنة، ولتحقيق ذلك لديــك أكثر من خيار؛ إذ يمكن أن تحمل صندوقين

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

معًا في المرة الواحدة، كما يمكــن أن تحمل أكثر من صندوقين، لكنك ستصبح بطيئًا، وترهق نفسك، مما يضطرك للإكثار من الاستراحات، ويمكن أيضًا أن تحمل صندوقًا واحدًا فقط في كل مرة، وبذلك تستهلك معظم طاقتك في رفع جســمك. إن القدرة (بوحدة الواط) التي يستطيع جسمك إنتاجها مدة طويلة تعتمد على الكتلة التي تحملها، كما في **الشكل 25–4**، الذي يعد مثالاً على منحنى القدرة الذي يطبق على الآلات كما يطبق على الإنســان. بالاعتماد على الشكل حدد عدد الصناديق التي ســتحملها كل مرّة والتي تقلل الزمن المطلــوب، وحدد كذلك الزمن الذي تقضيه في إنجاز هذا العمل؟ **ملاحظة**: أهمل الزمن اللازم لتعود إلى أسفل السلالم ورفع كل صندوق وإنزاله.



■ **الشكل 25–4**

97. **تطبيق المفاهيم** يجتاز عدّاء كتلته 75 kg مضمارًا طوله 50.0 m خلال 8.50 s. افترض أن تســارع العدّاء ثابت في أثناء السباق.

a. ما متوسط قدرة العداء خلال السباق؟

b. وما أقصى قدرة يولدها العدّاء؟

c. ارسم منحنى بيانيًّا كميًّا للقدرة مقابل الزمن يمثل مسار السباق من بدايته لنهايته.

98. **تطبيق المفاهيم** إذا اجتاز العدّاء في الســؤال السابق مضمار السباق نفسه (طوله 50.0 m) خلال الزمن نفسه (8.50 s)، لكنه هذه المرة تسارع في الثانية الأولى فقط، ثم أخذ يعدو خلال الزمن المتبقي للسباق بسرعة منتظمة، فاحسب ما يأتي:

a. متوسط القدرة المتولدة خلال الثانية الأولى.

b. أقصى قدرة يولدها العدّاء.

الكتابة في الفيزياء

99. تعد الدراجة الهوائية آلة مركّبة وكذلك السيارة أيضًا. أوجد كفاءة مكوّنات مجموعات القدرة (المحرك، وناقل الحركة، والإطارات)، واستكشف التحسينات الممكنة في كفاءة كل منها.

100. غالبًا ما تستخدم المصطلحات الآتية بوصفها مترادفات في الحياة اليومية: القوة، والشغل، والقدرة، والطاقة. احصل على أمثلة من الصحــف والإذاعة والتلفاز تســتخدم فيها هذه المصطلحات بمعانٍ مختلفة عن معانيها في الفيزياء.

مراجعة تراكمية

101. يقول بعض الناس أحيانًا إن القمر يبقى في مساره لأن "قوة الطرد المركزي توازن تمامًا قوة الجذب المركزي، والنتيجة أن القوة المحصلة تساوي صفرًا". وضح مدى صحة هذا القول. (الفصل 2)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبـار مقـنن

أسئلة الاختيار من متعدد

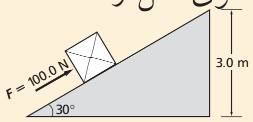
اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. يتكون نظام بكرات من بكرتين ثابتتين وبكرتين قابلتين للحركة ويرفع حملاً وزنه 300 N، فإذا استخدمت قوة مقدارها 100 N لرفع الوزن، فما الفائدة الميكانيكية للنظام؟

Ⓐ $\frac{1}{3}$ Ⓒ 3

Ⓑ $\frac{3}{4}$ Ⓓ 6

2. يُدفع الصندوق في الشكل إلى أعلى مستوى مائل ارتفاعه 3.0 m بقوة مقدارها 100.0 N فما مقدار الشغل المبذول على الصندوق؟



$(\sin 30^\circ = 0.50, \cos 30^\circ = 0.87, \tan 30^\circ = 0.58)$

Ⓐ 150 J   Ⓒ 450 J

Ⓑ 260 J   Ⓓ 600 J

3. تتكون آلة مركبة من مستوى مائل وبكرة، وتستخدم لرفع الصناديق الثقيلة، فإذا كانت كفاءة سحب صندوق كتلته 100 kg إلى أعلى المستــوى المائل % 50، وكانت كفاءة البكرة % 90، فما الكفاءة الكلية للآلة المركبة؟

Ⓐ 40 %   Ⓒ 50 %

Ⓑ 45 %   Ⓓ 70 %

4. ينزلق متزلج كتلته 50.0 kg على سطح بحيرة جليدية مهملة الاحتكاك، وحينما اقترب من زميله، مدَّ كلاهما يديه في اتجاه الآخر، حيث أثر فيه زميله بقوة في اتجاه معاكس لحركته، فتباطأت سرعته من 2.0 m /s إلى 1.0 m /s. ما التغير في الطاقة الحركية للمتزلج؟

Ⓐ +25 J   Ⓒ −100 J

Ⓑ −75 J   Ⓓ 150 J

5. يتدلى قالب خشبي وزنه 20.0 N من نهاية حبل يلتف حول نظام بكرة، فإذا ســحبت النهاية الأخرى للحبل مسافـة 2.00 m إلى الأسفل فإن نظام البكرة يرفع القالب مسافة 0.40 m. ما الفائدة الميكانيكية المثالية للنظام؟

Ⓐ 2.5   Ⓒ 5.0

Ⓑ 4.0   Ⓓ 10.0

6. يحمل شخصان صندوقين متماثلين وزن كل منهما 40.0 N إلى أعلى مستوى مائل طوله 2.00 m، وتستند نهايته إلى منصة ارتفاعها 1.00 m. فــإذا تحرك أحدهما إلى أعلى المستوى المائل خلال 2.00 s، وتحرك الآخر خلال 4.00 s فما الفرق بين القدرتين اللتين يستخدمهما الشخصان في حمل الصندوقين إلى أعلى المستوى المائل؟

Ⓐ 5 W   Ⓒ 20 W

Ⓑ 10 W   Ⓓ 40 W

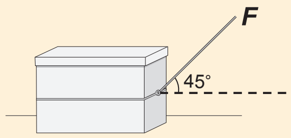
7. أثرت قدم لاعب في كرة وزنها 4 N تستقر على أرض ملعب بقوة 5 N مسافة 0.1 m بحيث تدحرجت الكرة 10 m، ما مقدار الطاقة الحركية التي اكتسبتها الكرة من اللاعب؟

Ⓐ 0.5 J   Ⓒ 9 J

Ⓑ 0.9 J   Ⓓ 50 J

الأسئلة الممتدة

8. يبين الرسم التوضيحي أدناه صندوقًا يُسحب بوساطة حبل بقوة مقدارها 200.0 N على سطح أفقي، بحيث يصنع الحبل زاوية °45 على الأفقي. احسب الشغل المبذول على الصندوق والقدرة اللازمة لسحبه مسافة 5.0 m في زمن قدره 10.0 s $(\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = 0.71)$



إرشاد

اضبط الساعة وراجع التمرين مرة أخرى

عندما تخضع لاختبار تدريبي درّب نفسك على أن تنهي كل جزء منه قبل الوقت المحدد، بحيث يمكنك العودة والتأكد من إجاباتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل
5

الطاقـــة وحفظهـــا
Energy and Its Conservation

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تَعرُّف الطاقة بوصفها خاصية للجسم تغيـر من موقعه، أو سرعته، أو بيئته.
- توضيح أن الطاقة تتغيّر من شكل إلى آخر، وأن الطاقة الكلية في نظام مغلق ثابتة (المقدار الكلي للطاقة يبقى ثابتًا في النظام المغلق).

الأهمية

تدير الطاقــة عجلة الحياة، حيث يشــتري الناس الطاقة ويبيعونها لتشغيـل الأجهــزة الكهربائية، والسيّارات والمصانع.

التزلج يحدّد ارتفــاع قفزة المتزلج طاقته عند أسفل المنحدر؛ إذ تتحدد طاقته قبل أن يقفــز في الهواء ويطير عــدة أمتار ثم يسقط أســفل المنحدر الثلجي. وتعتمد المســافة التي يقطعها المتزلج على مبادئ فيزيائية منهــا مقاومة الهواء، والتوازن، والطاقة.

فكِّر ◄

كيف يؤثر ارتفــاع منحدر التزلج في المسافة التي يقطعها المتزلج في قفزته؟

تجربة استهلالية

كيف تحلّل طاقة كرة السلة المرتدة؟

سؤال التجربة ما العلاقة بين الارتفاع الذي تسقط منه كرة السلة والارتفاع الذي تصل إليه عندما ترتد إلى أعلى؟

الخطوات

1. ثبت مسطرة مترية بجانب الحائط، ثم اختر ارتفاعًا ابتدائيًّا لتسقط منه كرة سلة، وسجل الارتفاع في جدول البيانات.
2. أسقط الكرة، ثم سجل الارتفاع الذي ترتد إليه.
3. كرّر الخطوتين 1 و 2 بإسقاط الكرة من ثلاثة ارتفاعات مختلفة.
4. **ارسم رسومًا بيانية واستخدمها** مثّل بيانيًّا العلاقة بين الارتفاع الذي ترتد إليه الكرة (y) والارتفاع الذي سقطت منه (x)، ثم ارسم أفضل خط يوائم البيانات.

التحليل

استخدم الرسم البياني لإيجاد الارتفاع الذي ترتد إليه الكرة إذا أسقطت من ارتفاع 10.0 m.

عندما ترتفع الكرة وتتهيأ للسقوط يكون لها طاقة، فما العوامل المؤثرة في هذه الطاقة؟

التفكير الناقد لماذا لا ترتد الكرة إلى الارتفاع نفسه الذي سقطت منه؟

1–5 الأشكال المتعددة للطاقة The Many Forms of Energy

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

الأهداف

- **تستخدم** نموذجًا لتربط بين الشغل والطاقة.
- **تحسب** الطاقة الحركية.
- **تحدد** طاقة الوضع الجاذبية لنظام ما.
- **تبيّن** كيفية تخزين طاقة الوضع المرونية.

المفردات

طاقة الحركة الدورانية

طاقة الوضع الجاذبية

مستوى الإسناد

طاقة الوضع المرونية

تُستخدم كلمة طاقة في سياقات مختلفة في حديثنا اليومي؛ فمثلاً تعرض بعض الإعلانات التجارية أنواعًا من الأغذية باعتبارها مصادر للطاقة، ويستخدم الرياضيون كلمة الطاقة في حديثهم عن التمارين الرياضية، كما تُسمى الشركات التي تزود منزلك بالكهرباء والغاز الطبيعي أو وقود التدفئة بشركات الطاقة.

غير أن العلماء والمهندسين يستخدمون كلمة الطاقة بصورة أكثر تحديدًا. فكما تعلمت سابقًا يسبب الشغل تغيرًا في طاقة النظام؛ أيْ أن الشغل ينقل الطاقة بين النظام والمحيط الخارجي.

وستتعرف في هذا الفصل كيف يمتلك الجسم الطاقة بطرائق مختلفة، وكيف تتحول الطاقة من شكل إلى آخر، وكيف نتتبّع هذه التغيرات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

■ **الشكل 1–5** عندما تكسب مالاً يزيد مقدار المال لديك (**a**)، وعندما تصرف المال يقل مقداره لديك (**b**).

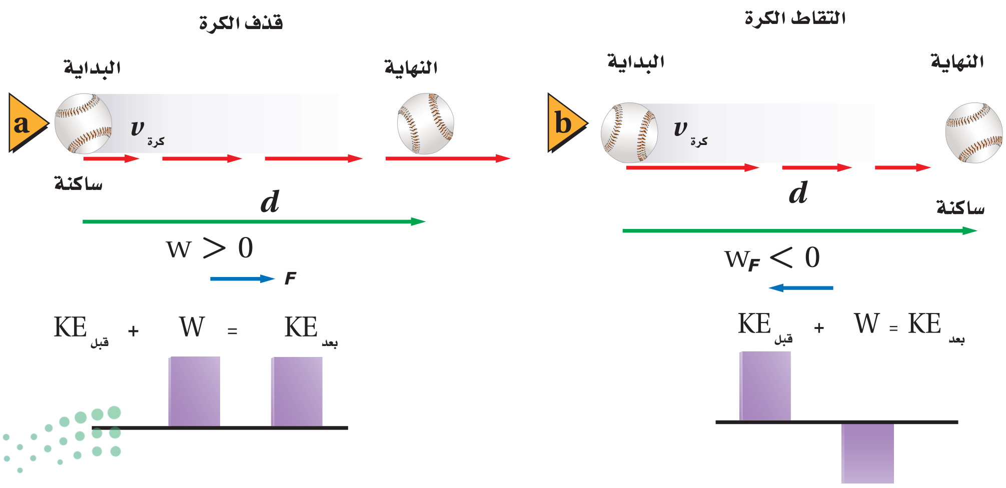
نموذج لنظرية الشغل – الطاقة
A model of the Work – Energy Theorem

تعرّفت سابقًا نظرية الشغل – الطاقة، وتعلمت أنه عندما يُبذل شغلٌ على نظام معين تزداد طاقته، ومن جهة أخرى إذا بَذل النظامُ شـــغلاً تقل طاقته، وهذه هي فكرة الدرس بصورة عامة، ولكن تتبُّع الطاقة يشبه إلى حد كبير تتبُّع إنفاق المال.

فإذا كان لديك وظيفة فإن كمية المال التي تمتلكها تزداد في كل مرة تستلم فيها راتبك.

ويمكن تمثيل هذه العملية بيانيًّا بالأعمدة، كما في **الشكل 1a–5**، حيث يمثل العمود البرتقالي مقدار المال الذي بدأت به، ويمثل العمود الأزرق مقدار المال الذي دفعته أو اكتسبته، أما العمود الأخضر فيمثل المجموع الكلي للمال (بعد الدفع) سواء الذي دفعته أو كسبته. لاحظ أن المحاســـب يعتبر التدفق المالي لديك موجبًا إذا دُفع المال لك، أما إذا أنفقت المال الذي تمتلكه فسيكون التدفق المالي سالبًا، وبذلك يقل مجموع النقود الكلي، كما في **الشكل 1b–5**. فالعمود الذي يمثل مقدار المال الذي تمتلكه قبل أن تشتري قرصًا مدمجًا (CD) لحاسوبك أعلى من العمود الذي يمثل مقدار المال المتبقي بعد شراء ذلك القرص، والفرق يســـاوي تكلفة القرص. والتدفق المالي في هذه الحالة يبينه العمود أسفل المحور؛ لأنه يمثل المال الخارج ويكون سالبًا. والطاقة تشبه عملية صرفك للمال. فالطاقة إما أن يبذلها النظام أو تبذل عليه.

قذف الكرة يمكن أن نبين كســـب الطاقة أو فقدها بقذف الكرة والتقاطها. تعلمت سابقًا أنه إذا أثرت بقوة ثابتة F في جسم، فتحرك هذا الجسم مسافة d في اتجاه القوة فإنك تكون قد بذلت شـــغلاً يُعبر عنه بالعلاقة $W = Fd$، ويكون الشغل موجبًا لأن القوة والحركة في الاتجاه نفسه، كما أن طاقة الجسم ازدادت بمقدار يساوي الشغل نفسه W. افترض أن هذا الجســـم كرة، وأثرت فيها بقوة وحركتها أفقيًّا، فاكتســـبت الكرة طاقة حركية نتيجة لتأثير القوة، و**الشكل 2a–5** يمثل هذه العملية. كما يمكنك استخدام التمثيل البياني بالأعمدة لتوضيح هذه العملية، حيث يمثل ارتفاع العمود مقدار الشغل المبذول أو الطاقة بالجول. والطاقة الحركية بعد بذل الشغل تساوي مجموع الطاقة الحركية الابتدائية والشغل المبذول على الكرة.



■ **الشكل 2–5** الطاقة الحركية بعد قذف الكرة أو التقاطها تساوي الطاقة الحركية قبل عملية القذف أو الالتقاط+ الشغل المبذول.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

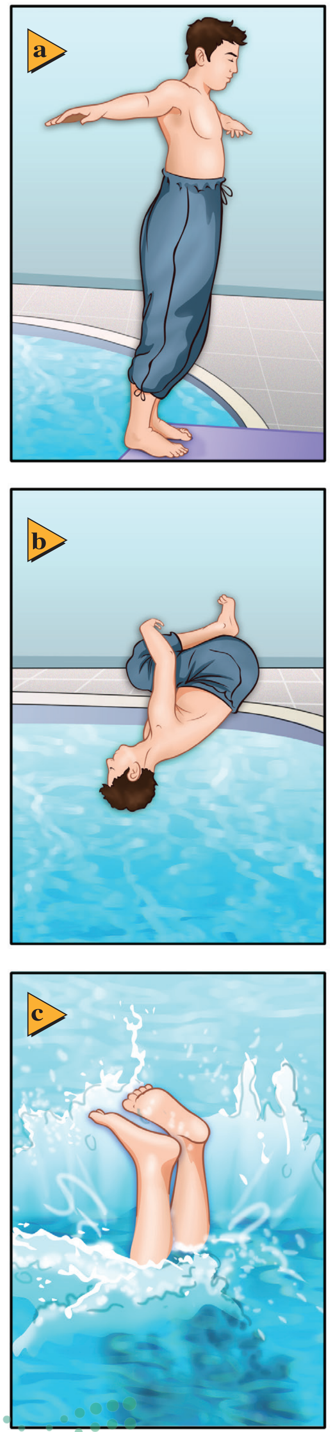
التقـاط الكـرة ماذا يحدث عندما تلتقط الكرة؟ لقد كانت الكرة تتحرك، ولها طاقة حركية قبـل أن ترتطم بيدك. وعندما تلتقطها تؤثر فيها بقـوة في الاتجاه المعاكس لاتجاه حركتها، لذا فإنك تبذل عليها شـغلاً سـالبًا، مما يجعلها تتوقف، لتصبح طاقتها الحركية في النهاية صفرًا. وهذه العملية ممثلة في **الشـكل 2b–5**. لاحظ أن الطاقة الحركية موجبة دائمًا، ففي حالة التقاط الكرة مثلا، كانت الطاقة الحركية الابتدائية للكرة موجبة، والشـغل المبذول على الكرة سالبًا، والطاقة الحركية النهائية صفرًا. مرة أخرى فإن الطاقة الحركية بعد توقف الكرة هي مجموع الطاقة الحركية الابتدائية والشغل الذي بُذل على الكرة.

الطاقة الحركية Kinetic Energy

تذكّر أن الطاقة الحركية يعبر عنها بالعلاقة الآتية: $KE=\frac{1}{2}mv^2$ حيث m كتلة الجسـم، و v مقدار سرعة الجسـم. وتتناسب الطاقة الحركية طرديًّا مع كتلة الجسم. فكرة حديدية مثلاً كتلتها 7.26 kg مقذوفة في الهواء لها طاقة حركية أكبر مما لكرة بيسبول كتلتها 0.148 kg لها السرعة نفسها؛ لأن كتلة الكرة الحديدية أكبر. كما تتناسب الطاقة الحركية لجسم طرديًّا مع مربع سرعته؛ فالطاقة الحركية لسـيـارة تتحـــرك بسرعة 20 m /s تعادل أربعة أضعاف الطاقة الحركية لسـيارة مماثلة لهـا في الكتلة تتحرك بسرعــة 10 m /s. وهناك أيضًا طاقة حركية ناتجة عن الحركة الدورانية، فإذا دوّرنا لعبة البلبل مثلاً مع الحفاظ على مركز كتلتها في نقطــة محددة، فهل تكون له طاقة حركية؟ لعلك تعتقد أنه لا يوجد طاقة حركية للبلبل لأنه لم يتنقل قاطعًا أي مسـافة، ولكن حتى تجعل البلبل يدور لا بد أن تبذل عليه شـغلاً، لذا لابد أن يكون للبلبل **طاقة حركيــة دورانية**، وهذا نوع آخر من أنواع الطاقة المختلفة. وكما تعتمد الطاقة الحركية الخطية على سرعة الجســم تعتمد الطاقة الحركية الدورانية على السرعة الزاوية ω. ومن جهة أخرى فالطاقة الحركية الدورانية لا ترتبط بكتلة الجسم فقط وإنما بتوزيع هذه الكتلة أيضًا.

يمثل **الشكل 3a–5** غطّاسًـا يقف على لوح الغطس، حيث يبذل شغلاً عندما يدفع لوح الغطس بقدميه إلى الأسـفل، فيولد هذا الشـغل طاقة حركية خطيــة وأخرى دورانية؛ حيــث تتولد طاقة الحركة الخطيــة عندما يتحرك مركز كتلة الغطــاس في أثناء الوثبة، أما طاقة الحركة الدورانية فتتولد عندما يدور حول مركز كتلته، كما في **الشـكل 3b–5**، ولأن الغطــاس يتحرك نحو الماء وفي الوقت نفســه يدور حول مركز كتلتــه، بينما هو في وضع الانثناء (القرفصاء)، فإن له طاقة حركية خطيــة وطاقة حركية دورانية. أما عندما يدخل الغطاس الماء بقامة مفرودة – كما في **الشـكل 3c–5** – فإن طاقته الحركية تظهر على شكل طاقة حركية خطية.

الشكل 3–5 يبذل الغطّاس شغلاً عندما يدفع لوح الغطس إلى أسفل ويثِب عنه إلى أعلى (a)، ويتحول جزء من طاقته الحركية المتولدة عن الشغل إلى طاقة حركية دورانية عندما يدور حول مركز كتلته (b)، ويكون له طاقة حركية خطية عندما يدخل إلى الماء (c).



مسائل تدريبية

1. يتحرك متزلج كتلته 52.0 kg بسرعة 2.5 m/s، ويتوقف خلال مسافة 24.0 m ما مقدار الشغل المبذول بفعل الاحتكاك مع الجليد لجعل المتزلج يتوقف؟ وما مقدار الشغل الذي يجب على المتزلج أن يبذله ليصل إلى سرعة 2.5 m/s مرة أخرى؟
2. سيارة صغيرة كتلتها 875.0 kg زادت سرعتها من 22.0 m/s إلى 44.0 m/s عندما تجاوزت سيارة أخرى، فما مقدارا طاقتي حركتها الابتدائية والنهائية؟ وما مقدار الشغل المبذول على السيارة لزيادة سرعتها؟
3. ضرب مذنب كتلته 7.85×10^{11} kg الأرض بسرعة 25.0 km/s. جد الطاقة الحركية للمذنب بوحدة الجول، وقارن بين الشغل المبذول من الأرض لإيقاف المذنب والمقدار 4.2×10^{15} J والذي يمثل الطاقة الناتجة عن أكبر سلاح نووي على الأرض.

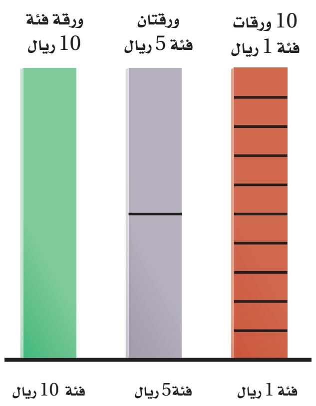
الطاقة المختزنة Stored Energy

تأمّل مجموعة من القطع الصخرية في أعلى تل؛ لابد أن هذه الصخور رُفعت إلى أعلى نتيجة عمليات جيولوجية ضد قوة الجاذبية الأرضية، ونتيجة للشغل المبذول على الصخور فقد اختُزِنت فيها طاقة، وعند حدوث الانزلاقات تصبح الصخور أقل تماسكًا مع الوسط المحيط بها مما يسمح لها بالتساقط، وتتزايد سرعتها في أثناء السقوط بفعل تحول الطاقة المختزنة فيها إلى طاقة حركية.

والألعاب التي تعمل بشد النابض تخزن طاقة في النابض المشدود بالطريقة نفسها. ويعتبر اختزان الطاقة في الصخور وفي النوابض أمثلة على اختزان الطاقة بطرائق ميكانيكية، وهناك طرائق أخرى لاختزان الطاقة، فمثلاً، تختزن السيارة الطاقة في صورة طاقة كيميائية في خزان البنزين. وعمومًا تتحول الطاقة من شكل إلى آخر لتكون مفيدة، أو لتسبب حركة الأشياء.

كيف يوضح نموذج المال الذي نوقش مؤخرا تحولات الطاقة من شكل إلى آخر؟ يأتي المال أيضا بأشكال مختلفة؛ إذ يمكن أن يكون لديك ورقة نقدية من فئة 10ريالات، أو ورقتان من فئة 5 ريالات، أو عشر ورقات من فئة ريال واحد. وفي جميع الحالات سيكون معك عشرة ريالات، فاختلاف أشكال الأوراق النقدية لم يغير من قيمتها الكلية، ويمكن تمثيل ذلك برسم بياني بالأعمدة، كما في **الشكل 4–5**؛ حيث يبين ارتفاع العمود مقدار المال في كل حالة. وبالمثل يمكن استخدام الرسم البياني بالأعمدة لتمثيل كمية الطاقة في أوضاع مختلفة للنظام وبالطريقة نفسها.

الشكل 4–5 يبين فئات نقدية مختلفة: 1ريال، 5ريال، 10ريالات.



طاقة الوضع الجاذبية

Gravitational Potential Energy

انظــر إلى الكرات المقذوفة في الهواء في **الشـــكل 5–5**؛ إذا اعتبرنا أن النظام يتكون من كرة واحدة، فســيكون هناك عدة قوى خارجية تؤثر فيها؛ حيـــث تبذل قوة يد اللاعب الذي يقذفها شـــغلاً يعطي الكرة طاقة حركية ابتدائية. وبعد أن تخرج الكرة من يد اللاعب تتأثر بقوة الجاذبية الأرضية فقط، فما مقدار الشـــغل المبذول من قوة الجاذبية على الكرة في أثناء تغير ارتفاعها؟

الشغل الـذي تبذله قوة الجاذبيـة الأرضيـة تقع الكرة تحت تأثير قوة الجاذبية F_g في أثناء صعودها إلى أعلى، وبذلك فإن اتجاه إزاحتها (إلى أعلى) يكون معاكسًـــا لاتجاه تأثير القوة عليها (أسفل)، أي أن الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية الأرضية على الكرة في أثناء صعودها هو شـــغل سالب، وإذا كان h هو الارتفاع الذي تصل إليه الكرة فوق يد اللاعب فيمكن التعبير عن شغل الجاذبية بالمعادلة الآتية: $W_g = -mgh$، وأمّا في طريق العودة (السقوط) إلى أســفل فإن قوة الجاذبية والإزاحة تكونان في الاتجاه نفســه، وعندئذ يكون شغل قوة الجاذبية الأرضية موجبًا $W_g = mgh$؛ أثناء صعود الكرة تبذل الجاذبية شـــغلاً سالبًا يبطئ سرعة الكرة حتى تتوقف. وفي أثناء السقوط تبذل قوة الجاذبية الأرضية شغلاً موجبًا يزيد من سرعتها. لذا فإنّه يزيد من طاقتها الحركية؛ أيْ تستعيد الكرة طاقتها الحركية الابتدائية التي كانت فيها لحظـــة قذفها من يد اللاعب إلى أعـلى. وكأن الطاقة الحركية اختزنت في الكرة بشـــكل آخر من أشـــكال الطاقة عندما ارتفعت إلى أعلى، ثم تحولت ثانية إلى طاقة حركية عندما سقطت إلى أسفل.

لنأخذ نظامًا مكونًا من جسم ما والأرض، حيث تبذل قوة التجاذب بين الجسم والأرض شـــغلاً على الجسم ما دام الجســـم يتحرك، فإذا تحرك الجســـم بعيدًا عن الأرض اختُزنت في النظام طاقة نتيجة تأثير قوة الجاذبية بين الجســـم والأرض، وتســـمى هذه الطاقة **طاقة الوضع الجاذبية**، ويرمز لها بالرمز PE. ويُحدَّد الارتفاع الذي يصل إليه الجســـم باستخدام **مستوى الإسناد**، وهو المستوى الذي تكون طاقة الوضع PE عنده صفرًا. فإذا كانت كتلة الجسم m، وارتفاع الجسم الرأسي عن مستوى الإسناد h، فإن طاقة الوضع الجاذبية يعبر عنها بالعلاقة:

طاقة الوضع الجاذبية $PE = mgh$

طاقة الوضع الجاذبية الأرضية لجسم ما تساوي حاصل ضرب كتلته في تسارع الجاذبية الأرضية في ارتفاعه الرأسي عن مستوى الإسناد.

تمثل g تســـارعَ الجاذبية الأرضية، وتقاس طاقة الوضع كـــما تقاس الطاقة الحركية بوحدة الجول.

■ **الشـكل 5–5** تتغير طاقة وضع الكرة وطاقتها الحركية باستمرار عند قذفها إلى أعلى كما يفعل اللاعب.

تطبيق الفيزياء

◀ طاقة وضع الذرة

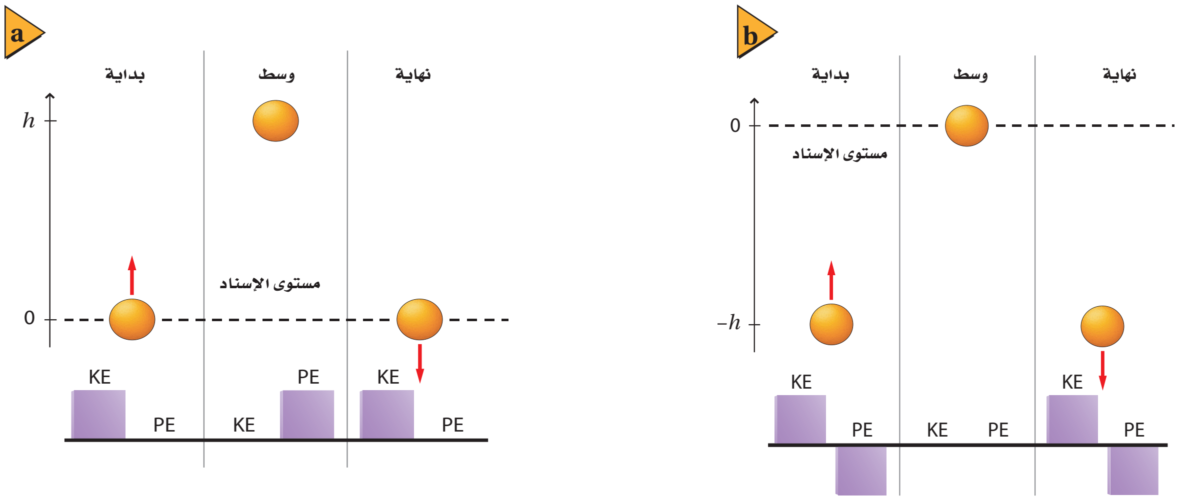
من المثير للاهتمام معرفة المقادير النسبية لطاقة الوضع لكل ذرة. فعلى سبيل المثال كتلة ذرة الكربون 2×10^{-26} kg؛ وإذا رفعتها مسافة 1 m فوق سطح الأرض تصبح طاقة الوضع الجاذبية لها 2×10^{-25} J، وطاقة الوضع الكهرسكونية التي تُبقي الإلكترون مرتبطًا مع ذرته تساوي 10^{-19} J تقريبًا، وطاقة الوضع النووية التي تربط مكونات النواة أكبر من 10^{-12} J، أيْ أن طاقة الوضع النووية أكبر مليون مليون مرة على الأقل من طاقة الوضع الجاذبية. ▶

طاقة الحركة وطاقة الوضع لنظام لنأخذ حالة الكرة التي تقذف إلى أعلى ثم تعاود الهبوط، والتي سبق طرحها: يتكون النظام في هذه الحالة من الكرة والأرض، وتوجد الطاقة في النظام على شكل طاقة حركية، وطاقة وضع جاذبية. وعند بداية قذف الكرة فإن طاقة النظام تتخذ شكل الطاقة الحركية، كما في **الشكل 6a–5**، وفي أثناء صعود الكرة إلى أعلى تتحول الطاقة الحركية تدريجيًّا إلى طاقة وضع، حيث تصبح سرعة الكرة صفرًا عندما تبلغ أقصى ارتفاع لها، وعندئذٍ تصبح الطاقة كلها طاقة وضع جاذبية فقط، وفي أثناء السقوط تتحول طاقة الوضع الجاذبية إلى طاقة حركية. ويبقى مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع الجاذبية ثابتًا في جميع الأوقات؛ لأنه لم يُبذل شغل على النظام من قوة خارجية.

مستوى الإسناد تعدّ يد اللاعب الذي يقذف الكرة، ويتلقفها، هي مستوى الإسناد الذي يقاس منه ارتفاع الكرة، انظر **الشكل 6a–5**، ولذلك عندما تكون الكرة عند يد اللاعب فإن $h = 0\ m$ و $PE = 0\ J$، ويمكن أخذ مستوى الإسناد عند أي ارتفاع مناسب في أثناء حل المسألة. فلو افترضنا أننا أخذنا مستوى الإسناد عند أقصى ارتفاع للكرة، فعندئذ تكون $h=0\ m$، وطاقة الوضع للنظام $PE = 0\ J$ عند هذه النقطة كما في **الشكل 6b–5**، وتكون طاقة الوضع للنظام سالبة عند بداية قذف الكرة إلى أعلى.

أما عند حساب المجموع الكلي للطاقة في النظام فستكون النتيجة كما في **الشكل 6a–5** مختلفة عن المجموع الكلي للطاقة في النظام في **الشكل 6b–5**، ويعود هذا إلى اختلاف مستوى الإسناد في الحالتين. لكن المجموع الكلي لطاقة النظام يبقى مقدارًا ثابتًا في جميع الأوقات خلال تحليق الكرة، وإن كانت قيمة المقدار الثابت تختلف باختلاف مستوى الإسناد في كل حالة. من جهة أخرى فإن تغيرات الطاقة هي وحدها التي تحدد حركة النظام.

■ **الشكل 6–5** تتحوّل طاقة الكرة من شكل إلى آخر في أثناء مراحل تحليقها المختلفة (**a**)، لاحظ أنه يمكن اختيار مستوى الإسناد بشكل عشوائي. وعلى الرغم من تغير المجموع الكلي للطاقة في النظام بتغير مستوى الإسناد إلا أن المجموع الكلي لطاقة النظام يبقى ثابتًا طوال مراحل التحليق (ما دام مستوى الإسناد محددًا) (**b**).



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

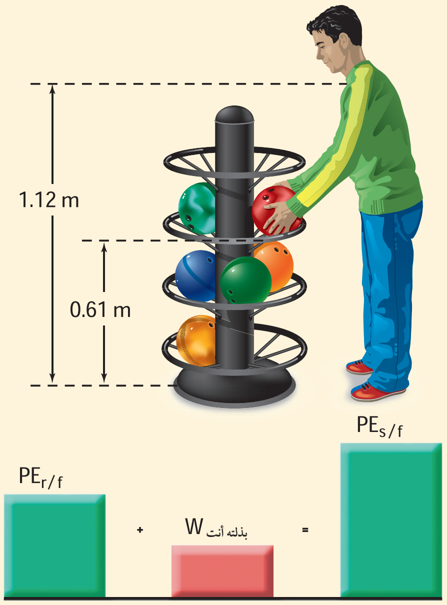
مثـــــال 1

طاقة الوضع الجاذبية إذا رفعت كرة بولنج كتلتها 7.30 kg من سلة الكرات إلى مستوى كتفك، وكان ارتفاع سلة الكرات عن سطح الأرض 0.610 m، وارتفاع كتفك عن سطح الأرض 1.12 m، فما مقدار:

a. طاقة الوضع الجاذبية لكرة البولنج وهي على كتفك بالنسبة إلى سطح الأرض؟

b. طاقة الوضع الجاذبية لكرة بولنج على كتفك بالنسبة إلى سلة الكرات؟

c. شغل الجاذبية عندما ترتفع الكرة من السلة إلى مستوى كتفك؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخطّطًا للحالة.
- اختر مستوى إسناد.
- ارسم أعمدة بيانية بين طاقة الوضع الجاذبية على اعتبار أن سطح الأرض هو مستوى الإسناد.
- يرمز الحرف s إلى الكتف، والحرف r إلى السلة، والحرف f إلى الأرض.

المعلوم

$m = 7.30$ kg ، $g = 9.80$ m/s^2

$h_r = 0.610$ m نسبة إلى سطح الأرض

$h_s = 1.12$ m نسبة إلى سطح الأرض

المجهول

$PE_{s/f} = ?$

$PE_{s/r} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. اختر مستوى الاسناد عند سطح الأرض.

جد طاقة الوضع الجاذبية للكرة عند مستوى الكتف.

$$PE_{s/f} = mgh_s$$

عوض مستخدمًا $m = 7.30$ kg, $g = 9.80$ m/s^2, $h = 1.12$m

$$= (7.30 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2)(1.12 \text{ m})$$

$$= 80.1 \text{ J}$$

b. افترض أن مستوى الإسناد هو سلة الكرات.

جد ارتفاع كتفك بالنسبة إلى سلة الكرات

$$h = h_s - h_r$$

دليل الرياضيات

ترتيب العمليات 213

جد طاقة وضع الكرة.

$$PE_{s/r} = mgh$$

$$= mg(h_s - h_r)$$

عوض مستخدمًا $m = 7.30$ kg, $g = 9.80$ m/s^2, $h_s = 1.12$ m , $h_r = 0.610$ m

$$= (7.30 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2)(1.12 \text{ m} - 0.610 \text{ m})$$

$$= 36.5 \text{ J}$$

وهذا يساوي الشغل الذي تبذله أنت.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

c. الشغل المبذول من الجاذبية هو وزن الكرة مضروبًا في الارتفاع الذي وصلت إليه.

$$W = Fd$$

بما أن اتجاه الوزن معاكس لاتجاه حركة الكرة، فإن الشغل يكون سالبًا.

$$= -(mg)h$$

عوض مستخدمًا $m = 7.30\ \text{kg},\ g = 9.80\ \text{m/s}^2$

$$= -(mg)(h_s - h_r)$$

$h_s = 1.12\ \text{m},\ h_r = 0.610\ \text{m}$

$$= -(7.30\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(1.12\ \text{m} - 0.610\ \text{m})$$

$$= -36.5\ \text{J}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** طاقة الوضع والشغل كلاهما يُقاس بوحدة الجول.
- **هل القيمة منطقية؟** يجب أن يكون للكرة طاقة وضع أكبر بالنسبة لسطح الأرض، مقارنة بطاقتها بالنسبة لسلة الكرات؛ لأن ارتفاع الكرة فوق مستوى الإسناد أكبر.

مسائل تدريبية

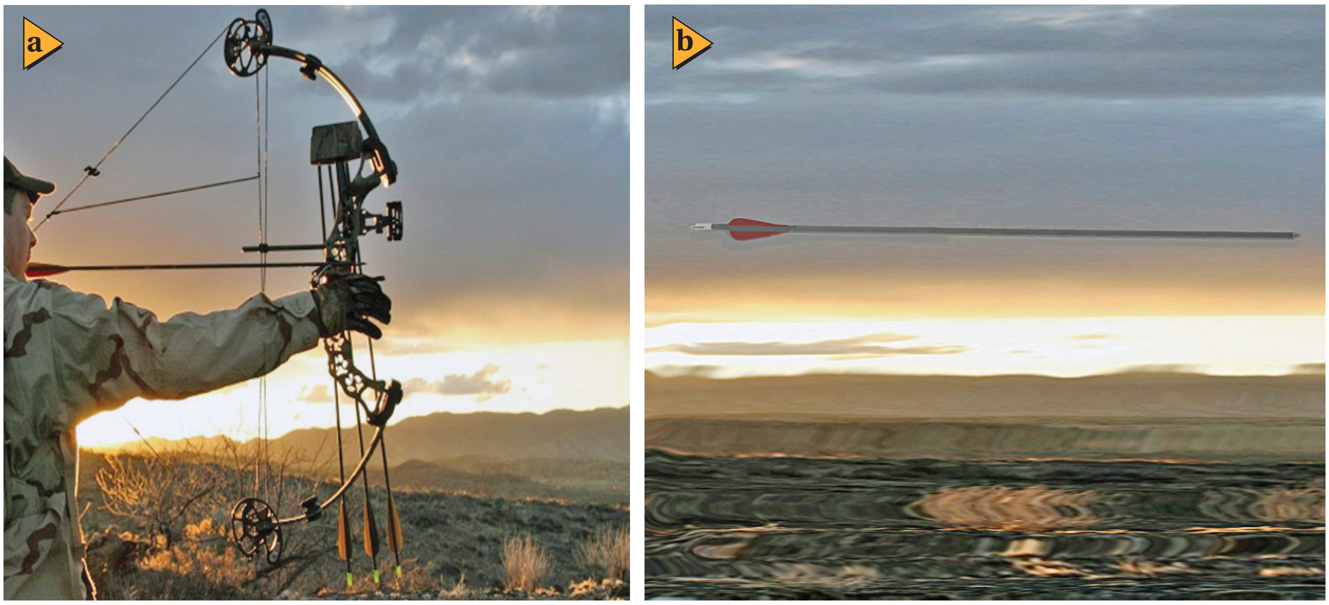
4. ما مقدار طاقة الوضع لكرة البولنج في المثال 1، عندما تكون على سطح الأرض، على اعتبار مستوى الإسناد عند سلة الكرات؟
5. احسب الشغل الذي تبذله عندما تُنزل بتمهلٍ كيسَ رمل كتلته 20.0 kg مسافة 1.20 m من شاحنة إلى الرصيف؟
6. رفع طالب كتابًا كتلته 2.2 kg من فوق سطح طاولة ارتفاعها عن سطح الأرض 0.80 m، ثم وضعه على رف الكتب الذي يرتفع عن سطح الأرض مسافة 2.10 m. ما مقدار طاقة الوضع للكتاب بالنسبة إلى سطح الطاولة؟
7. إذا سقطت قطعة طوب كتلتها 1.8 kg من مدخنة ارتفاعها 6.7 m إلى سطح الأرض، فما مقدار التغير في طاقة وضعها؟
8. رفع عامل صندوقًا كتلته 10.0 kg من الأرض إلى سطح طاولة ارتفاعها 1.1 m، ثم دفع الصندوق على سطح الطاولة مسافة 5.0 m، ثم أسقطه على الأرض. ما التغيرات في طاقة الصندوق؟ وما مقدار التغير في طاقته الكلية؟ (أهمل الاحتكاك)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

طاقة الوضع المرونية Elastic Potential Energy

عند سحب وتر كما في **الشكل 7a–5** يبذل شغل على القوس، مما يخزن طاقة فيه، لذا تزداد طاقة النظام المكوّن من القوس والسهم والأرض. وتسمى الطاقة المختزنة في الوتر المشدود **طاقة وضع مرونية**، والتي تُختزن عادة في كرات المطاط، والأربطة المطاطية، والمقاليع، ومنصات القفز. وعند إفلات الوتر يندفع السهم إلى الأمام وتتحول طاقته إلى طاقة حركية. كما في الشكل 7b–5 .

■ **الشكل 7–5** تختزن طاقة الوضع المرونية في وتر القوس، حيث تتخذ الطاقة كلها شكل طاقة الوضع المرونية قبل إفلات الوتر (a). أما عند إفلات الوتر فتنتقل الطاقة إلى السهم على شكل طاقة حركية (b).



وتختزن الطاقة أيضًا في الجسم المثني أو المحني. ففي لعبة القفز بالزانة كانت الزانات المستخدمة سابقًا لا تخزن طاقة وضع كبيرة؛ لأنها من خشب الخيزران أو من مواد فلزية قاسية يصعب انحناؤها، ولذا يصعب بذل شغل عليها، ولكن بعد استحداث زانات مصنوعة من ألياف زجاجية عالية المرونة تمكن اللاعبون من تجاوز القفزات العالية السابقة، وتسجيل أرقام قياسية جديدة في اللعبة.

يركض لاعب القفز بالزانة حاملاً عصًا مرنة (الزانة)، ويغرز طرفها السفلي في تراب الملعب، وعندما يثني اللاعب العصا كما في **الشكل 8–5** فإن جزءًا من الطاقة الحركية للاعب تتحول إلى طاقة وضع مرونية. وعندما تستقيم العصا تتحول طاقة الوضع المرونية إلى طاقة وضع جاذبية، وطاقة حركية، فيرتفع اللاعب بالزانة إلى ارتفاع يصل إلى 6 m فوق سطح الأرض.

وعلى عكس القضبان الفلزية القاسية وعصي الخيزران فإن قضبان الألياف الزجاجية لها قابلية أكبر لتخزين طاقة الوضع المرونية، وقد أتاحت للاعبي القفز بالزانة الوثب عن عوارض على ارتفاعات أعلى من ذي قبل.

■ **الشكل 8–5** عندما يقفز اللاعب مستعينًا بالزانة تتحول طاقة الوضع المرونية إلى طاقة حركية وطاقة وضع جاذبية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الكتلة قدم ألبرت أينشتاين شكلاً آخر لطاقة الوضع؛ وهو الكتلة ذاتها! حيث يقول إن الكتلة طاقة بطبيعتها، وتسمى هذه الطاقة E_0 الطاقة السكونية، ويعبر عنها بالعلاقة الآتية:

الطاقة السكونية $E_0 = mc^2$

الطاقة السكونية لجسم تساوي كتلة الجسم مضروبة في مربع سرعة الضوء.

وفقًا للمعادلة السابقة، فإن ضغط النابض أو ثني الزانة يؤدي إلى إكساب كتلة للنابض أو الزانة، ويكون التغير في الكتلة في هذه الحالة قليلاً جدًّا، بحيث يصعب الكشف عنه، ولكن عندما نتعامل مع قوى كتلك الموجودة في نواة الذرة (القوى النووية) فإن الطاقة المتحررة نتيجة تغيرات الكتلة، والتي تظهر على أشكال مختلفة من الطاقة كالطاقة الحركية مثلاً، تكون كبيرة جدًّا.

1-5 مراجعة

9. طاقة الوضع المرونية لديك مسدس لعبة، تدفع بداخله الطلقات المطاطية، فتضغط نابضًا، وعندما يتحرر النابض يطلق الرصاصات المطاطية، بفعل طاقة وضعه المرونية، إلى خارج المسدس. فإذا استخدمت هذا النظام لإطلاق الطلقات المطاطية إلى أعلى فارسم مخططًا بيانيًّا بالأعمدة يصف أشكال الطاقة في الحالات الآتية:

a. عند دفع الطلقات المطاطية داخل ماسورة المسدس، مما يؤدي إلى انضغاط النابض.

b. عند تمدد النابض وخروج الطلقات من ماسورة المسدس بعد سحب الزناد.

c. عند وصول الخرزات إلى أقصى ارتفاع لها.

10. طاقة الوضع أطلقت قذيفة كتلتها 25.0 kg من مدفع على سطح الأرض. فإذا كان مستوى الإسناد هو سطح الأرض فما مقدار طاقة الوضع للنظام عندما تصبح القذيفة على ارتفاع 425 m؟ وما التغير في طاقة الوضع عندما تصل القذيفة إلى ارتفاع 225 m؟

11. نظرية الشغل – الطاقة كيف تطبق نظرية الشغل – الطاقة عند رفع كرة البولينج من سلة الكرات إلى كتفك؟

12. طاقة الوضع متسلق صخور كتلته 90.0 kg تسلق في البداية 45.0 m فوق سطح طبقة صخرية ليصل إلى قمة التل، ثم هبط إلى نقطة تبعد 85.0 m أسفل قمة التل. فإذا كان سطح الطبقة الصخرية هو مستوى الإسناد، فجد طاقة الوضع الجاذبية للنظام (المتسلق والأرض) عند أعلى ارتفاع وصله المتسلق، وكذلك عند أدنى نقطة. وارسم مخططًا بيانيًّا بالأعمدة لكلا الوضعين.

13. التفكير الناقد استخدم زياد خرطومًا هوائيًّا ليؤثر بقوة أفقية ثابتة في قرص مطاطي موجود فوق مضمار هوائي عديم الاحتكاك، فجعل الخرطوم مصوبًا نحو القرص طوال تحركه لمسافة محددة؛ ليضمن التأثير بقوة ثابتة في أثناء حركة القرص.

a. وضح ما حدث بدلالة الشغل والطاقة، واستعن برسم مخططٍ بيانيٍّ بالأعمدة.

b. افترض أن زيادًا استخدم قرصًا مطاطيًّا آخر كتلته نصف كتلة القرص الأول، وبقيت الظروف كلها كما هي، فكيف تتغير طاقة الحركة والشغل في هذا الوضع عن الوضع الأول؟

c. وضح ما حدث في **a** و **b** بدلالة الدفع والزخم.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

5–2 حفظ الطاقة Conservation of Energy

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

عندما تتحرك كرة قريبًا جدًّا من سطح الأرض يكون المجموع الكلي لطاقة الوضع الجاذبية والطاقة الحركية في النظام مقدارًا ثابتًا. وعند تغير ارتفاع الكرة تتحول الطاقة الحركية إلى طاقة وضع، ولكن يبقى المجموع الكلي للطاقة هو نفسه.

◄ الأهداف

- **تحل** مسائل باستخدام قانون حفظ الطاقة.
- **تحلّل** التصادمات لإيجاد التغير في الطاقة الحركية.

◄ المفردات

قانون حفظ الطاقة
الطاقة الميكانيكية
التصادم فوق المرن
التصادم المرن
التصادم العديم المرونة

حفظ الطاقة Conservation of Energy

قد لا تبدو الطاقة محفوظة في حياتنا اليومية. فالقرص المطاطي في لعبة الهوكي يفقد طاقته الحركية ويتوقف عن الحركة في النهاية، حتى على السطح الجليدي الأملس. ويتوقف البندول عن الحركة بعد فترة زمنية ما. ويمكننا استخدام نموذج المال مرة أخرى لنبيِّن ما يحدث في هذه الحالات.

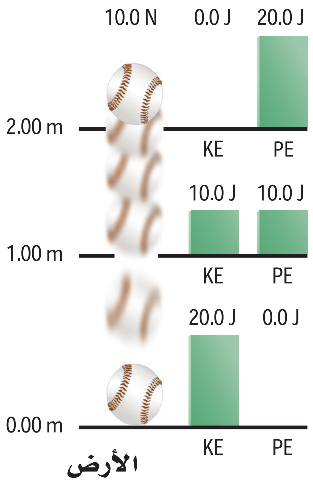
افترض أن لديك 50 ريالاً، وقمت في أحد الأيام بعدّ نقودك فوجدتها ناقصة 10 ريالات. فهل اختفت النقود؟ ربما تحاول أن تتذكّر هل أنفقتها، وقد تحاول البحث عنها، لكنك بكل تأكيد لن تتخلى عن مبدأ "حفظ المال"، وستحاول أن تتذكر كيف أنفقت النقود، أو أين ذهبت.

قانون حفظ الطاقة يعمل العلماء كما فعلت عندما لم يكن مجموع المال صحيحًا، فإذا لاحظوا أن الطاقة تُفقد من النظام، فإنهم يبحثون عن شكل جديد يمكن أن تكون الطاقة قد تحولت إليه؛ هذا لأن المجموع الكلي للطاقة في أي نظام يبقى ثابتًا ما دام النظام مغلقًا ومعزولاً عن القوى الخارجية. وينص **قانون حفظ الطاقة** على أنه في النظام المعزول المغلق، لا تفنى الطاقة ولا تستحدث، إلا بقدرة الله تعالى، أيْ تبقى الطاقة محفوظة تحت هذه الشروط، وتتحول من شكل إلى آخر، بحيث يبقى المجموع الكلي للطاقة في النظام ثابتًا.

حفظ الطاقة الميكانيكية يُسمى مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع الجاذبية للنظام **الطاقة الميكانيكية** E. وفي أي نظام إذا لم يكن هناك أنواع أخرى من الطاقة فإن الطاقة الميكانيكية يُعبر عنها بالمعادلة:

الطاقة الميكانيكية لنظام $E = KE + PE$

"الطاقة الميكانيكية لنظام تساوي مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع الجاذبية إذا لم يكن هناك أنواع أخرى من الطاقة".



■ **الشكل 9–5** النقص في طاقة الوضع يساوي الزيادة في الطاقة الحركية.

تخيل نظامًا يتكون من كرة وزنها 10.0 N والأرض، كما في **الشكل 9–5**، وافترض أن الكرة موجودة على ارتفاع 2.00 m فوق سطح الأرض الذي سنعدّه مستوى الإسناد، ولأن الكرة الآن لا تتحرك فإنه ليس لها طاقة حركية. ويعبر عن طاقة وضعها بالمعادلة الآتية:

$$PE = mgh = (10.0\ N)(2.00\ m) = 20.0\ J$$

إن المجموع الكلي للطاقة الميكانيكية للكرة 20.0 J، وبسقوط الكرة فإنها تفقد طاقة وضع وتكتسب طاقة حركية، وعندما تصبح الكرة على ارتفاع 1.0m فوق سطح الأرض فإن:

$$PE = mgh = (10.0\ N)(1.00\ m) = 10.0\ J$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مــا مقدار الطاقة الحركية للكــرة عندما تكون على ارتفاع 1.00 m من ســطح الأرض؟ يتكون النظام من الكــرة والأرض وهو مغلق ومعزول؛ لأنه لا يوجد قوى خارجية تؤثر فيه؛ لذا فالمجموع الكلي لطاقة النظام E يبقى ثابتًا عند 20.0 J.

$$E = KE + PE$$

$$KE = E - PE$$

$$KE = 20.0\ \text{J} - 10.0\ \text{J} = 10.0\ \text{J}$$

وعندما تصل الكرة إلى ســطح الأرض تصبــح طاقة وضعها صفــرًا، وطاقتها الحركية 20.0 J، وتكتب المعادلة التي تصف حفظ الطاقة الميكانيكية على النحو الآتي:

حفظ الطاقة الميكانيكية $KE_{\text{قبل}} + PE_{\text{قبل}} = KE_{\text{بعد}} + PE_{\text{بعد}}$

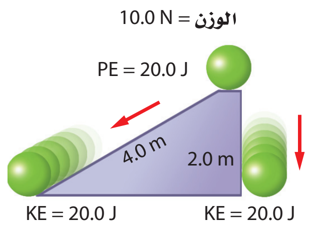
عندما تكون الطاقة الميكانيكية محفوظة فإن مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع في النظام قبل وقوع الحدث تساوي مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع في النظام بعد الحدث.

ماذا يحدث إذا تدحرجت الكرة على سطح مائل، كما في **الشكل 10–5**، بدلاً من أن تسقط رأسيًّا إلى أســفل؟ إذا كان السطح مهمل الاحتكاك فهذا يعني أن النظام لم يتأثر بأية قوى خارجية، أيْ أن النظام مغلق ومعزول؛ لذا فإن الكرة ستهبط مسافة رأسية 2.0 m، فتفقد طاقة وضع مقدارها 20.0 J، كما في الحالة الســابقة، وستكتســب طاقــة حركية مقدارها 20.0 J . أي أنه في غياب الاحتكاك، لا يكون للمسار الذي تسلكه الكرة أي تأثير.

عربــة التزلـج في حالة التزلج على المنحدرات المتعرجة، إذا كانت العربة ســاكنة في أعلى منحــدر فعند هذه النقطة يكون مجموع الطاقة الميكانيكية في النظام يســاوي طاقة الوضع الجاذبية. افترض وجود منحدر آخر على المسار أكثر ارتفاعًا من المنحدر الأول فإن العربة لا تستطيع الصعود إليه؛ لأن الطاقة اللازمة لذلك أكبر من الطاقة الميكانيكية في النظام.

التزلج افترض أنك بدأت التزلج من الســكون هابطًا منحدرًا شديد الانحدار. إن الطاقة الميكانيكية الكلية للنظــام هي طاقة الوضع التي بدأت بها التزلج، وعند هبوطك المنحدر تتحول طاقة الوضع الجاذبية لديك إلى طاقة حركية، وكلما هبطت إلى أسفل تزداد سرعتك، حيث تتحول طاقة الوضــع الجاذبية إلى طاقة حركية، وفي رياضــة القفز عن المنحدرات الجليدية يُحدّد ارتفاع قفزة اللاعب في الهواء مقدار الطاقة التي ســتتحول لاحقًا إلى طاقة حركية عندما يبدأ تزلجه.

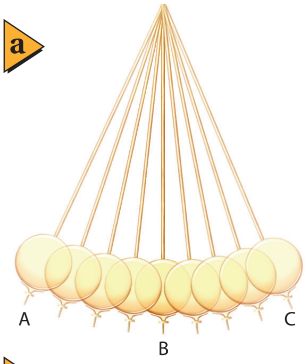
البندول تبرهن الحركة التوافقية البسيطة للبندول على مبدأ حفظ الطاقة، حيث يتكون النظام من ثقل البندول المتذبذب والأرض **شكل 11a–5**، وعادة يختار مستوى الإسناد عند ارتفاع ثقل البندول وهو ســاكن، أي عند أدنى نقطة في مسار البندول. إذا أثرت قوة خارجية في ثقل البندول فأزاحته إلى أحد الجانبين فإن القوة تبذل شغلاً يكسب النظام طاقة ميكانيكية. وفي اللحظة التي يُترك فيها البندول فإن الطاقة الكلية تتخذ شــكل طاقة الوضع، وعندما يبدأ البندول أرجحته هابطًا إلى أدنى نقطة في مساره، تتحول طاقة النظام إلى طاقة حركية.



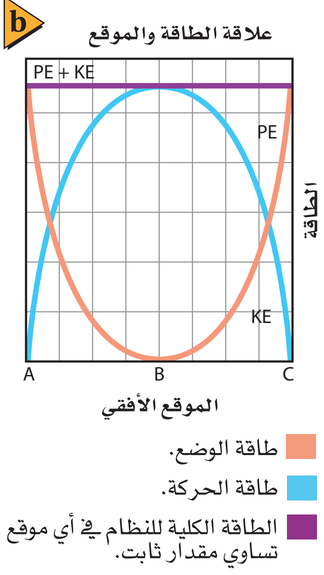
الشكل 10–5 لا يؤثر المسار الذي يتبعه الجسم حتى يصل الأرض في مقدار الطاقة الحركية النهائية للجسم.

الشكل 11–5 الحركة التوافقية البسيطة لرقّاص البندول (a). الطاقة الميكانيكية هي مجموع طاقتي الحركة والوضع وهي مقدار ثابت (b).

a



b



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

والشـــكل 11b–5 يوضح العلاقــة البيانية لتغير طاقة الوضع وطاقــة الحركة للبندول. فعندمـــا يكون البندول عند أدنى نقطة في مســاره تكون طاقة الوضــع له صفرًا، وتكون طاقته الحركية مساوية للطاقة الميكانيكية الكلية للنظام. لاحظ أن الطاقة الميكانيكية الكلية في النظام تبقى ثابتة على افتراض أن الاحتكاك معدوم.

فقـدان الطاقـة الميكانيكيـة نلاحظ في حياتنا اليومية أن تذبــذب البندول يتوقف في نهاية المطاف، وأن الكرة المرتدة عن ســطح الأرض تؤول إلى الســكون، كما أن الارتفاع الذي تصل إليه عربة التزلــج يقل تدريجياً، فأين تذهب الطاقة في هــذه الأنظمة؟ يتعرض أي جســم يتحرك في الهواء لقوة مقاومة الهــواء، كما تتعرض عربة قطــار الملاهي لتأثير قوة الاحتكاك بين عجلات العربة والسكة.

تجربة عملية

هل الطاقة محفوظة؟

ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين الإثرائية

وعندما ترتد الكرة عن ســطح الأرض، لا تتحول جميع طاقة الوضع المرونية المختزنة فيها إلى طاقــة حركية بعد الارتــداد، بل يتحول جزء من هذه الطاقــة إلى طاقة حرارية وطاقة صوتيــة، وفي حالتي البندول وعربة التزلج تتحول بعــض الطاقة الميكانيكية الابتدائية في النظام إلى أشــكال أخرى من الطاقة، إما إلى طاقة داخــل أجزاء النظام أو خارجه، كما في مقاومة الهواء. وترفع عادة هذه الطاقة درجة حرارة الجســم تدريجيًّا، وستعرف المزيد عن هذا النوع من الطاقة المســمى الطاقة الحرارية في الفصل 6. وستساعدك الاستراتيجيات الآتية على حلّ المسائل المتعلقة بحفظ الطاقة.

استراتيجية حلّ المسائل

حفظ الطاقة

استعن بالاســتراتيجيات الآتية عند حل المسائل المتعلقة بحفظ الطاقة:

1. حدّد النظام بدقة، وتأكد أنه مغلق (تذكر أن النظام المغلق لا يدخل إليه أو يخرج منه أي جسم).
2. عين أشكال الطاقة في النظام.
3. حدّد الوضع الابتدائي والنهائي للنظام.
4. هل النظام معزول؟

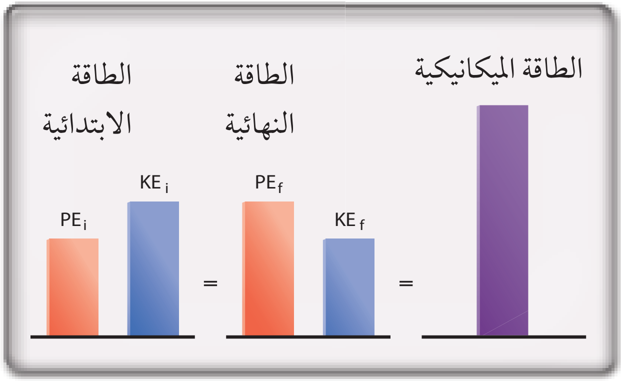
a. إذا لم تكــن هناك قوة خارجيــة تؤثر في النظام يكون النظام معزولًا ويكون مجموع الطاقة الكلية فيه ثابتًا.

$$E_{\text{قبل}} = E_{\text{بعد}}$$

b. إذا كان هناك قوة خارجية تؤثر في النظام فإنّ $E_{\text{قبل}} + W = E_{\text{بعد}}$

5. إذا كانت الطاقة الميكانيكية محفوظةً فحدّد مستوى إســناد لحساب طاقة الوضع، ومثّل بيانيًّا بالأعمدة كلًّا من الطاقة الابتدائية والطاقة النهائية، كما في الشكل المرفق.

مخطط الطاقة



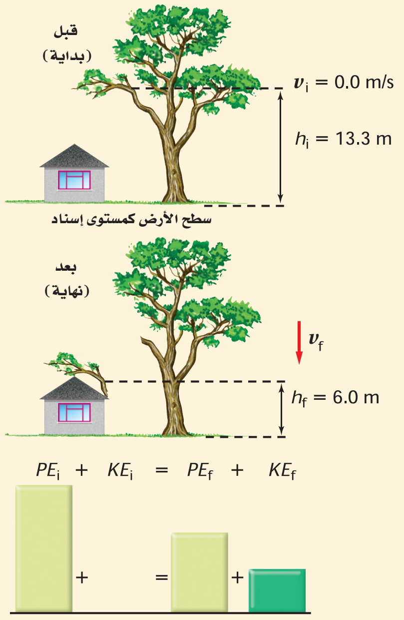
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مثـــــال 2

حفظ الطاقة الميكانيكية خلال إعصار، سقط غصن شجرة كبيرة كتلته 22.0 kg ومتوسط ارتفاعه عن سطح الأرض 13.3 m على سقف كوخ يرتفع 6.0 m عن سطح الأرض. احسب مقدار:

a. الطاقة الحركية للغصن عندما يصل إلى السقف، وذلك بإهمال مقاومة الهواء.

b. سرعة الغصن عندما يصل إلى السقف.



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الوضع الابتدائي والوضع النهائي.
- اختر مستوى الإسناد.
- مثّل بيانيًّا بالأعمدة.

المجهول		المعلوم
$KE_f = ?$	$PE_i = ?$	$m = 22.0$ kg، $g = 9.80$ m/s²
$v_f = ?$	$PE_f = ?$	$v_i = 0.0$ m/s، $h_{غصن} = 13.3$ m
		$KE_i = 0.0$ J، $h_{سقف} = 6.0$ m

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. افترض أن مستوى الإسناد هو ارتفاع السقف، ثم أوجد الارتفاع الابتدائي للغصن بالنسبة للسقف.

$$h = h_{غصن} - h_{سقف}$$

$$= 13.3\text{ m} - 6.0\text{ m}$$

عوض مستخدمًا $h_{سقف} = 6.0$ m، $h_{غصن} = 13.3$ m

$$= 7.3\text{ m}$$

أوجد طاقة الوضع الابتدائية للغصن

$$PE_i = mgh$$

$$= (22.0\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)(7.3\text{ m})$$

عوض مستخدمًا $h=7.3$m، $g=9.80$m/s²، $m=22.0$kg

$$= 1.6\times10^3\text{ J}$$

حدد الطاقة الحركية الابتدائية للغصن

$$KE_i = 0.0\text{ J}$$

غصن الشجرة في البداية ساكن

الطاقة الحركية للغصن عندما يصل إلى السقف تساوي طاقة الوضع الابتدائية؛ لأن الطاقة محفوظة.

وبما أن الارتفاع صفر عند مستوى الإسناد فإن PE_f = 0.0 J.

$$KE_f = PE_i$$

$$= 1.6\times10^3\text{ J}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

b. أوجد سرعة الغصن.

$$KE_f = \frac{1}{2}mv^2_f$$

$$v_f = \sqrt{\frac{2KE_f}{m}}$$

عوض مستخدمًا $KE_f = 1.6 \times 10^3$ J، $m = 22.0$ kg

$$= \sqrt{\frac{2(1.6\times10^3\ \text{J})}{22.0\ \text{kg}}}$$

$$= 12\ \text{m/s}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس السرعة بوحدة m/s، والطاقة بوحدة $\text{J} = \text{kg.m}^2/\text{s}^2$.
- **هل الإشارات منطقية؟** الطاقة الحركية (KE) ومقدار السرعة دائمًا موجب.

مسائل تدريبية

.14 يقترب سائق دراجة من تل بسرعة 8.5 m/s. فإذا كانت كتلة السائق والدراجة 85.0 kg، فاختر نظام إسناد مناسب، ثم احسب طاقة الحركة الابتدائية للنظام. وإذا صعد السائق التل بالدراجة، فاحسب الارتفاع الذي ستتوقف عنده الدراجة بإهمال المقاومات.

.15 افترض أن السائق في السؤال السابق استمرّ في الحركة عن طريق التدوير المستمر للبدّالات (الدوّاسات) ولم يتوقف، ففي أي نظام تعتبر الطاقة محفوظة؟ وأي أشكال الطاقة اكتسبت منها الدراجة طاقتها؟

.16 بدأ متزلج بالانزلاق من السكون من قمة تل ارتفاعه 45.0 m يميل بزاوية 30° على الأفقي في اتجاه الوادي، ثم استمرّ في الحركة حتى وصل إلى التل الآخر الذي يبلغ ارتفاعه 40.0 m. حيث يقاس ارتفاع التلين بالنسبة لقاع الوادي. ما سرعة المتزلج عندما يمر بقاع الوادي، مع إهمال الاحتكاك وتأثير أعمدة التزلج؟ وما مقدار سرعة المتزلج عند أعلى التل الثاني؟ وهل لزاوية ميل التل أي تأثير في الجواب؟

.17 تقرر في إحدى مسابقات الغوص أن يكون الرابح هو من يثير أكبر كمية من رذاذ الماء عندما يغوص فيه. ولا تعتمد كمية الرذاذ على طريقة الغواص فقط، وإنما على مقدار الطاقة الحركية للغواص أيضًا. وفي هذه المسابقة قفز جميع الغواصين عن عارضة غوص ارتفاعها 3.00 m، فإذا كانت كتلة أحدهم 136 kg وقام بحركته بأن ألقى نفسه عن العارضة ببساطة. أمّا الغواص الثاني فكانت كتلته 102 kg وقفز عن العارضة إلى أعلى، فما الارتفاع الذي يجب أن يصل إليه اللاعب الثاني حتى يثير رذاذًا مساويًا لما أثاره الغواص الأول؟

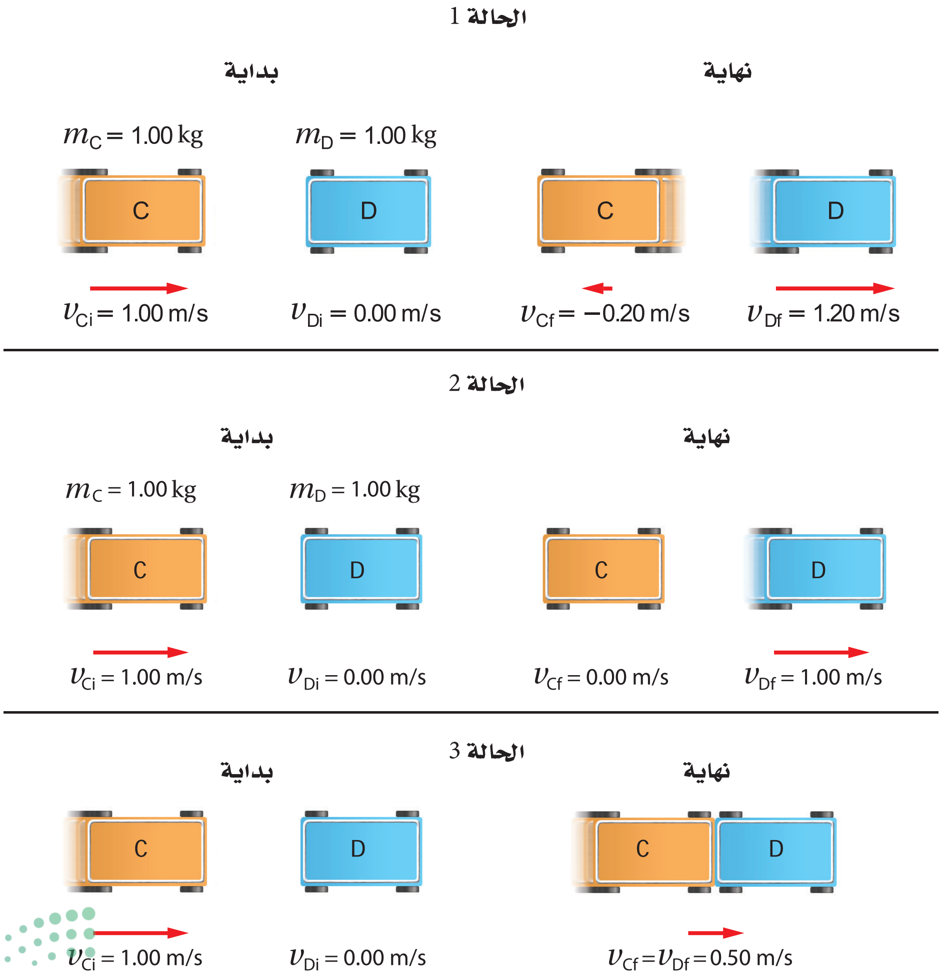
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تحليل التصادمات Analyzing collisions

من الحالات الشائعة التي تُطرح في موضوعات الفيزياء التصادم بين السيارات، أو اللاعبين، أو الجسيمات المكونة للذرة، بعضها مع بعض. وعادة ما تكون تفاصيل التصادم معقدة جدًّا في أثناء التصادم. لذلك تعتمد استراتيجية التعامل مع التصادم على دراسة حركة الأجســام قبل التصادم مباشرة، وبعده مباشرة. لكن ما الكميات الفيزيائية المحفوظة لنستخدم قوانينها عند تحليل النظام؟ إذا كان النظام معزولاً فإن الزخم والطاقة محفوظان، إلا أن طاقة الوضع أو الطاقة الحرارية في النظام يمكن أن تقل، أو تبقى ثابتة، أو تزداد؛ لذا لا نستطيع أن نقرر هل الطاقة الحركية محفوظة أم لا. ويبين **الشكل 12–5** ثلاثة أنواع مختلفة من التصادمات. ففي الحالة 1 زخم النظام قبل التصادم وبعده يعبر عنه بالمعادلة:

$$\boldsymbol{p}_{\mathrm{i}} = \boldsymbol{p}_{\mathrm{ci}} + \boldsymbol{p}_{\mathrm{Di}} = (1.00\ \mathrm{kg})(1.00\ \mathrm{m/s}) + (1.00\ \mathrm{kg})(0.00\ \mathrm{m/s})$$
$$= 1.00\ \mathrm{kg.m/s}$$
$$\boldsymbol{p}_{\mathrm{f}} = \boldsymbol{p}_{\mathrm{cf}} + \boldsymbol{p}_{Df} = (1.00\ \mathrm{kg})(-0.20\ \mathrm{m/s}) + (1.00\ \mathrm{kg})(1.20\ \mathrm{m/s})$$
$$= 1.00\ \mathrm{kg.m/s}$$

لذا فإن الزخم في الحالة 1 محفوظ. انظر مجددًا **الشــكل 12–5**، وبيِّن أن الزخم محفوظ في الحالتين 2 و 3.



■ **الشكل 12–5** يمكن أن يُحدث جسمان متحركان تصادمات مختلفة، الحالة 1 يتباعد الجسمان في اتجاهين متعاكسين. الحالة 2 يتوقف الجسم المتحرك ويتحرك الجسم الساكن. وفي الحالة 3 يلتحم الجسمان ويتحركان كجسم واحد.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

والآن لندرس الطاقة الحركية في النظام في كل حالة من الحالات الثلاث: ففي الحالة 1 يعبر عن الطاقة الحركية للنظام قبل التصادم وبعده بالمعادلة الآتية:

$$KE_{Ci} + KE_{Di} = \frac{1}{2}(1.00\ kg)\ (1.00\ m/s)^2 + \frac{1}{2}(1.00\ kg)\ (0.00\ m/s)^2$$
$$= 0.50\ J$$

$$KE_{Cf} + KE_{Df} = \frac{1}{2}(1.00\ kg)\ (-0.20\ m/s)^2 + \frac{1}{2}(1.00\ kg)\ (1.20\ m/s)^2$$
$$= 0.74\ J$$

أيْ زادت الطاقة الحركية للنظام في الحالة 1. وإذا كانت الطاقة محفوظة في النظام فلابد أن واحدًا أو أكثر من أشكال الطاقة قد قل، ربما انفلت نابض مضغوط في أثناء تصادم العربتين مما زوّد النظام بطاقة حركية، وهذا النوع من التصادم يُسمى **التصادم فوق المرن** superelastic أو الانفجاري explosive.

أمّا الطاقة الحركية بعد التصادم في الحالة 2 فتساوي:

$$KE_{Cf} + KE_{Df} = \frac{1}{2}(1.00\ kg)\ (0.\ 00\ m/s)^2 + \frac{1}{2}(1.00\ kg)\ (1.0\ m/s)^2$$
$$= 0.50\ J$$

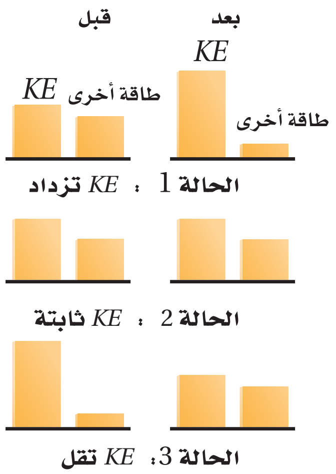
أي أن الطاقة الحركية بعد التصادم كما هي قبل التصادم، ويسمى هذا النوع من التصادم الذي لا تتغير فيه الطاقة الحركية **التصادم المرن** elastic collision، وعادة ما تسمى التصادمات التي تحدث بين الأجسام المرنة الصلبة –ومنها الأجسام المصنوعة من الفولاذ والزجاج أو البلاستيك الصلب – بالتصادمات شبه المرنة.

أما الطاقة الحركية بعد التصادم في الحالة 3 فهي

$$KE_{Cf} + KE_{Df} = \frac{1}{2}(1.00\ kg)\ (0.50\ m/s)^2 + \frac{1}{2}(1.00\ kg)\ (0.50\ m/s)^2$$
$$= 0.25\ J$$

أي أن الطاقة الحركية قلت لتحوّل جزء منها إلى طاقة حرارية. ويسمى هذا النوع من التصادم الذي تقل فيه الطاقة الحركية **بالتصادم العديم المرونة** inelastic collision، والأجسام المصنوعة من مواد ناعمة أو لزجة مثل الطين تتبع هذا النوع من التصادم.

يمكن تمثيل أنواع التصادم الثلاثة باستخدام التمثيل البياني بالأعمدة انظر إلى **الشكل 13–5**، كما يمكن أيضًا حساب الطاقة الحركية قبل التصادم وبعده، ويكون الفرق في الطاقة الحركية هو التغير في الأشكال الأخرى للطاقة، إذْ تتحول الطاقة الحركية في تصادم السيارات إلى أنواع أخرى من الطاقة، منها الطاقة الحرارية والطاقة الصوتية.



■ **الشكل 13–5** التمثيل البياني بالأعمدة لأنواع التصادمات الثلاثة.

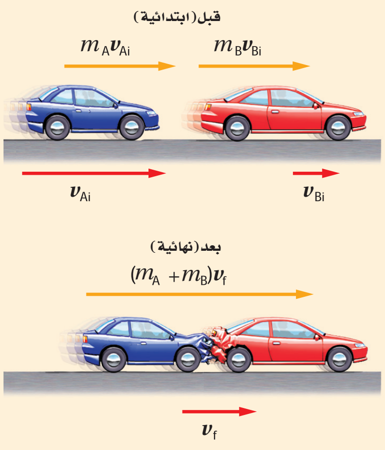
مثــــــال 3

الطاقة الحركية تتحرك سيارة صغيرة كتلتها 575 kg بسرعة 15.0 m /s، ثم اصطدمت بمؤخرة سيارة أخرى كتلتها 1575 kg تتحرك بسرعة 5.00 m /s في الاتجاه نفسه.

a. ما السرعة النهائية للسيارتين إذا التحمتا معًا وكوّنتا جسمًا واحدًا؟

b. ما مقدار الطاقة الحركية المفقودة نتيجة التصادم؟

c. ما نسبة الطاقة الحركية المفقودة إلى مقدار الطاقة الأصلية؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الوضع الابتدائي والوضع النهائي.
- مثّل مخطط الزخم.

المعلوم	المجهول
$m_A = 575$ kg ،$m_B = 1575$ kg	$v_f = ?$ ،$\Delta KE = KE_f - KE_i = ?$
$v_{Ai} = 15.0$ m/s ،$v_{Bi} = 5.00$ m/s	نسبة الطاقة الحركية المفقودة $\Delta KE/KE_i = ?$
$v_{Af} = v_{Bf} = v_f$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

دليل الرياضيات

فصل المتغير 215

a. استخدم معادلة حفظ الزخم لإيجاد السرعة النهائية.

$$p_{Ai} + p_{Bi} = p_{Af} + p_{Bf}$$

$$m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi} = (m_A + m_B) v_f$$

$$v_f = \frac{(m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi})}{(m_A + m_B)}$$

$$= \frac{(575\text{ kg})(15.0\text{ m/s})+(1575\text{ kg})(5.00\text{ m/s})}{(575\text{ kg}+1575\text{ kg})}$$

عوض مستخدمًا $m_A = 575$ kg ,$v_{Ai} = 15.0$ m/s
$m_B = 1575$ kg ,$v_{Bi} = 5.00$ m/s

$= 7.67$ m/s في اتجاه الحركة نفسه قبل التصادم

b. لتحديد التغير في الطاقة الحركية للنظام نحتاج إلى KE_f و KE_i

$$KE_f = \frac{1}{2} m v^2$$

عوض مستخدمًا $m = m_A + m_B$

$$= \frac{1}{2}(m_A + m_B) v_f^2$$

$$= \frac{1}{2}(575\text{ kg} + 1575\text{ kg})(7.67\text{ m/s})^2$$

$$= 6.32 \times 10^4\text{ J}$$

عوض مستخدمًا $m_A = 575$ kg, $m_B = 1575$ kg, $v_f = 7.67$ m/s

$$KE_i = KE_{Ai} + KE_{Bi}$$

$$= \frac{1}{2} m_A v_{Ai}^2 + \frac{1}{2} m_B v_{Bi}^2$$

عوض مستخدمًا $KE_{Ai} = \frac{1}{2} m_A v_{Ai}^2$, $KE_{Bi} = \frac{1}{2} m_B v_{Bi}^2$

$$= \frac{1}{2}(575\text{kg})(15.0\text{m/s})^2 + \frac{1}{2}(1575\text{kg})(5.00\text{m/s})^2$$

عوض مستخدمًا $m_A = 575$ kg , $m_B = 1575$ kg,
$v_{Ai} = 15.0$ m/s و $v_{Bi} = 5.00$ m/s

$$= 8.44 \times 10^4\text{ J}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

أوجد التغير في الطاقة الحركية للنظام.

$\Delta KE = KE_f - KE_i$

$= 6.32 \times 10^4\ J - 8.44 \times 10^4\ J$

$= -2.12 \times 10^4\ J$

عوض مستخدمًا $KE_f = 6.32 \times 10^4 J,\ KE_i = 8.44 \times 10^4 J$

c. أوجد نسبة الطاقة الحركية المفقودة إلى الطاقة الحركية الأصلية.

$\frac{\Delta KE}{KE_i} = \frac{-2.12\times10^4\ J}{8.44\times10^4\ J} = -0.251$

عوض مستخدمًا $\Delta KE = -2.11 \times 10^4 J, KE_i = 8.44 \times 10^4 J$

نسبة الطاقة الحركية المفقودة إلى الطاقة الحركية الأصلية للنظام 25.1 %

3 تقويم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس السرعة بوحدة m /s، وتقاس الطاقة بوحدة J.
- **هل الإشارات منطقية؟** السرعة موجبة، مما يتوافق مع السرعات الابتدائية.

مسائل تدريبية

18. انطلقت رصاصة كتلتها 8.00 g أفقيًّا نحو قطعة خشبية كتلتها 9.00 kg موضوعة على سطح طاولة، واستقرت فيها، وتحركتا كجسم واحد بعد التصادم على سطح عديم الاحتكاك بسرعة 10.0 m /s. ما مقدار السرعة الابتدائية للرصاصة؟

19. هدف مغناطيسي كتلته 0.73 kg معلق بخيط، أُطلق سهم حديدي كتلته 0.0250 kg أفقيًّا في اتجاه الهدف، فاصطدم به، والتحما معًا، وتحركا كبندول ارتفع 12.0 cm فوق المستوى الابتدائي قبل أن يتوقف لحظيًّا عن الحركة.

a. مثّل الحالة (الوضع)، ثم اختر النظام.

b. حدّد الكمية الفيزيائية المحفوظة في كل جزء من أجزاء الحركة كلها، ثم فسر ذلك.

c. ما السرعة الابتدائية للسهم؟

20. يتزلج لاعب كتلته 91.0 kg على الجليد بسرعة 5.50 m /s، ويتحرك لاعب آخر له الكتلة نفسها بسرعة 8.1 m /s في الاتجاه نفسه ليضرب اللاعب الأول من الخلف، ثم ينزلقان معًا.

a. احسب المجموع الكلي للطاقة، والمجموع الكلي للزخم في النظام قبل التصادم.

b. ما مقدار سرعة اللاعبين بعد التصادم؟

c. ما مقدار الطاقة المفقودة في التصادم؟

يمكنك أن ترى أن هناك اختلافًا حقيقيًّا بين الزخم والطاقة. فالزخم غالبًا ما يكون محفوظًا في التصادم أيًّا كان نوعه، أمّا الطاقة فتكون محفوظة فقط في التصادمات المرنة، والزخم هو الذي يوقف الأجسام؛ فمثلاً جسم كتلته 10.0 kg، ويتحرك بسرعة 5.00 m /s يمكنه إيقاف جسم آخر كتلته 20.0 kg يتحرك بسرعة 2.5 m /s عندما يصطدمان، على الرغم من أن الطاقة الحركية للجسم الصغير الكتلة في هذه الحالة أكبر من الطاقة الحركية للجسم الكبير الكتلة، فالطاقة الحركية للجسم الأصغر هي: $KE = \frac{1}{2}(10.0\ kg)\ (5.0\ m/s)^2 = 125\ J$، أما الطاقة الحركية للجسم الأكبر فهي $KE = \frac{1}{2}(20.0\ kg)\ (2.50\ m/s)^2 = 62.5\ J$. ويمكنك اعتمادًا على نظرية الشغل – الطاقة أن تستنتج أنه لجعل الجسم الذي كتلته 10.0 kg يتحرك بسرعة 5.00 m /s فإنه يتطلب شغلاً أكبر من الشغل اللازم لجعل الجسم الذي كتلته 20.0 kg يتحرك بسرعة 2.50 m /s. في تصادم السيارات يؤدي الزخم إلى إيقافها، أما الطاقة فإنها تسبب الضرر (التحطم) الذي يلحق بها.

ومن الممكن إيجاد تصادم دون حدوث ارتطام فعلي بين الأجسام. فإذا وُصلت عربتا مختبر بنابض مضغوط دون حركة على طاولة، يكون مجموع الزخم للعربتين صفرًا، وعند إفلات النابض تبتعد العربتان إحداهما عن الأخرى، حيث تتحول طاقة الوضع في النابض إلى طاقة حركية في العربتين. ولأن العربتين تبتعد إحداهما عن الأخرى فيكون مجموع الزخم صفرًا.

من المفيد ذكر مثالين لتصادمين بسيطين. المثال الأول لتصادم مرن بين جسمين متساويين في الكتلة، مثل تصادم كرة بلياردو متحركة بسرعة متجهة $\boldsymbol{v}$ بكرة بلياردو أخرى ساكنة، حيث تتوقف الكرة الأولى بعد التصادم، وتتحرك الكرة الأخرى بالسرعة المتجهة نفسها $\boldsymbol{v}$. ومن السهل إثبات مبدأ حفظ الزخم وحفظ الطاقة في هذا التصادم.

والمثال الثاني لتصادم يحدث بين متزلجين؛ المتزلج الأول كتلته m، ويتحرك بسرعة متجهة $\boldsymbol{v}$ في اتجاه متزلج آخر ساكن له الكتلة ذاتها، فيصطدم به ويلتصقان معًا بعد التصادم ويتحركان كجسم واحد، ونتيجة لحفظ الزخم لابد أن تكون سرعتهما معًا $\frac{1}{2}\boldsymbol{v}$. إن الطاقة الحركية النهائية للمتزلجين KE هي: $KE = \frac{1}{2}(2m)\ (\frac{1}{2}v)^2 = \frac{1}{4}m\,v^2$، أيْ نصف الطاقة الحركية الابتدائية، وذلك لأن التصادم عديم المرونة.

لقد درست حالات طبقت فيها قانون حفظ الطاقة، وفي بعض الأحيان قانون حفظ الزخم لتحديد حركة الأجسام المكونة للنظام. إن فهم أنظمة الأجسام باستخدام قانون نيوتن الثاني في الحركة وحده قد يكون بالغ التعقيد. ولذلك يعد فهم أشكال الطاقة في النظام، وتحولاتها من شكل لآخر أحد أكثر المفاهيم فائدة في العلوم. ويظهر مفهوم حفظ الطاقة كثيرًا في البحوث العلمية والتطبيقات الكهربائية والتجارية، حيث يستخدمه العلماء لاستقصاء موضوعات أكثر تعقيدًا من تصادم كرات البلياردو.

تجربة

تحويل الطاقة

1. اختر كرات فولاذية مختلفة الحجم، ثم أوجد كتلها.
2. ثبت عربة ميكانيكية ذات نابض رأسي على أن يكون نابضها متجهًا إلى أعلى.
3. ثبت مسطرة رأسيًّا بجوار النابض لقياس ارتفاع الكرة.
4. ضع إحدى الكرات على الطرف العلوي للنابض، واضغط النابض إلى أسفل حتى تتلامس الكرة مع العربة.
5. اترك الكرة بسرعة ليدفعها النابض رأسيًّا إلى أعلى.

تحذير: ابتعد عن الكرة قبل قذفها.

6. كرّر الخطوات عدة مرات للكرة ذاتها، ثم احسب متوسط الارتفاع.
7. قدّر ارتفاع الكرات الفولاذية المختلفة في الحجم.

التحليل والاستنتاج

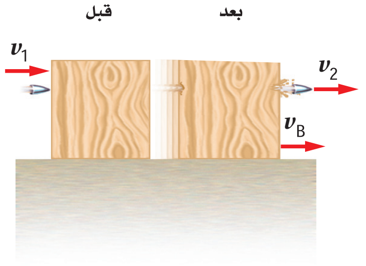
8. رتب الكرات وفق الارتفاع الذي تصل إليه. ماذا تستنتج؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسألة تحفيز

تحركت رصاصة كتلتها m بسرعة v_1 فاخترقت قطعة خشب ساكنة وخرجت منها بسرعة v_2، فإذا كانت كتلة القطعة الخشبية m_B، وتحركت بعد التصادم بسرعة v_B، فما مقدار:

1. السرعة النهائية لقطعة الخشب v_B؟
2. الطاقة التي فقدتها للرصاصة؟
3. الطاقة التي فقدت بسبب الاحتكاك داخل القطعة الخشبية؟



2–5 مراجعة

21. **النظام المغلق** هل الأرض نظام مغلق ومعزول؟ دعّم إجابتك.

22. **الطاقة** قفز طفل عن منصة القفز (منصة البهلوان)، ارسم تمثيلاً بيانيًّا بالأعمدة يبين أشكال الطاقة الموجودة في الأوضاع الآتية:

a. الطفل عند أعلى نقطة في مساره.

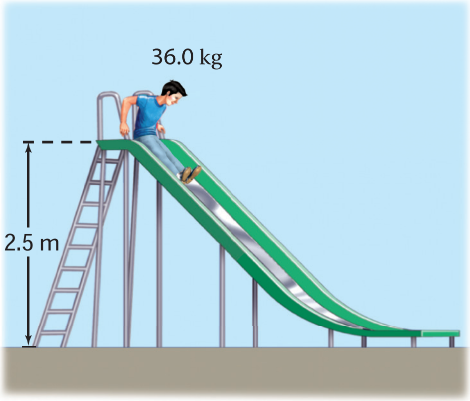
b. الطفل عند أدنى نقطة في مساره.

23. **الطاقة الحركية** افترض أن كرة من اللبان (العلكة) تصادمت مع كرة مطاطية صغيرة في الهواء، ثم ارتدتا إحداهما عن الأخرى. هل تتوقع أن تبقى الطاقة الحركية محفوظة؟ وإذا كان الجواب بالنفي فماذا حدث للطاقة؟

24. **الطاقة الحركية** تكون الكرة المستخدمة في تنس الطاولة كرة خفيفة جدًّا وصلبة، وتضرب بمضرب صلب (خشبي مثلاً). أما في التنس الأرضي فتكون الكرة أكثر ليونة، وتضرب بمضرب شبكي. فلماذا صُمّمت الكرة والمضرب في كل لعبة بهذه الطريقة؟ وهل تستطيع التفكير في كيفية تصميم كرة ومضرب تستخدمان في ألعاب رياضية أخرى؟

25. **طاقة الوضع** سقطت كرة مطاطية من ارتفاع 8.0 m على أرض أسمنتية صلبة، فاصطدمت بها وارتدت عنها عدة مرات، وفي كل مرة كانت تخسر $\frac{1}{5}$ مجموع طاقتها. كم مرة ستصطدم الكرة بالأرض حتى تصل إلى ارتفاع 4 m بعد الارتداد؟

26. **الطاقة** ينزلق طفل كتلته 36.0 kg على لعبة انزلاق ارتفاعها 2.5 m كما في **الشكل 14–5**. ويتحرك عند أدنى نقطة في اللعبة بسرعة 3.0 m /s، فما مقدار الطاقة المفقودة خلال انزلاقه؟



■ **الشكل 14–5**

27. **التفكير الناقد** سقطت كرة من ارتفاع 20.0 m وعندما وصلت إلى نصف الارتفاع، أي 10 m، كان نصف طاقتها طاقة وضع، والنصف الآخر طاقة حركة. عندما تستغرق الكرة في رحلتها نصف زمن سقوطها، فهل ستكون طاقة الوضع للكرة نصف طاقتها أم أقل أم أكثر؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مختبر الفيزياء

حفظ الطاقة Conservation of Energy

يوجد عدة أمثلة لحالات تكون فيها الطاقة محفوظة، منها سقوط صخرة من ارتفاع معلوم. فإذا سقطت الصخرة من السكون تكون طاقتها عند البدء طاقة وضع فقط، وفي أثناء السقوط تقل طاقة الوضع بتناقص الارتفاع، وفي الوقت نفسه تزداد الطاقة الحركية. ويبقى مجموع طاقتي الحركة والوضع ثابتًا إذا أهملنا الاحتكاك. وعند لحظة اصطدام الصخرة بالأرض فإن طاقة الوضع كلها تكون قد تحولت إلى طاقة حركية. ستصمّم في هذه التجربة نموذجًا لإسقاط جسم من ارتفاع معين وتحسب سرعته عندما يرتطم بالأرض.

سؤال التجربة

كيف يوضح "تحول طاقة الوضع لجسم ما إلى طاقة حركية" مبدأ حفظ الطاقة؟

الأهداف

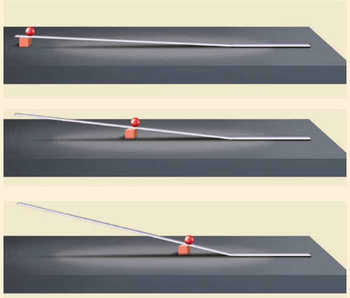
- **تحسب** سرعة الجسم الساقط عند لحظة ارتطامه بالأرض باستخدام النموذج.
- **تفسر البيانات** لإيجاد علاقة بين طاقة وضع الجسم الساقط وطاقته الحركية.

احتياطات السلامة

شكل 1

شكل 2

شكل 3



المواد والأدوات

قطعتان خشبيتان أو بلاستيكيتان محفور فيهما أخدود (مسار) مستقيم يتكون من جزأين، ميزان إلكتروني، كرة فولاذية أو زجاجية، مسطرة مترية، ساعة إيقاف، آلة حاسبة بيانية، قطعة خشبية.

ملاحظة: *يفضل استخدام بوابات إلكترونية لقياس السرعة على المسار الأفقي، أو المؤقت ذي الشريط الورقي، وفي حال عدم توافر أي منهما يجب أن لا يقل طول المسار الأفقي عن 1.5 m.*

الخطوات

1. ثبت القطعتين ذواتي الأخدود كما في **الشكل 1**. وارفع طرف أحد المسارين ليرتكز على القطعة الخشبية، بحيث تبعد نقطة ارتكازه على الخشبة مسافة 5 cm عن طرف المسار. تأكد أنه يمكن للكرة التدحرج بسهولة عبر نقطة اتصال المسارين.
2. سجل طول الجزء الأفقي من المسار في جدول البيانات. وضع كرة على المسار فوق القطعة الخشبية مباشرة واترك الكرة لتتدحرج. شغل ساعة الإيقاف عندما تصل الكرة إلى الجزء الأفقي، ثم أوقفها عندما تصل الكرة إلى نهاية المسار الأفقي. وسجل الزمن اللازم للكرة لقطع المسافة الأفقية في جدول البيانات.
3. حرّك القطعة الخشبية بحيث تصبح تحت نقطة منتصف الجزء المائل من المسار كما في **الشكل 2**. وضع الكرة على المسار فوق القطعة الخشبية مباشرة، ثم اترك الكرة لتتدحرج وقس الزمن اللازم لقطع الجزء الأفقي من المسار وسجّله في جدول البيانات. ولاحظ أنه حتى لو ارتفع السطح المائل فإن الكرة تسقط من الارتفاع نفسه كما في الخطوة 2.
4. احسب سرعة الكرة على المسار الأفقي في الخطوتين 2و3، وحرّك القطعة الخشبية الآن إلى نقطة تشكّل ثلاثة أرباع طول السطح المائل كما في **الشكل 3**.
5. توقع الزمن اللازم لوصول الكرة إلى نهاية السطح الأفقي للمسار، وسجل توقعك ثم اختبره.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

جدول البيانات			
ارتفاع نقطة السقوط (m)	المسافة الأفقية (m)	الزمن (s)	السرعة (m/s)
0.05			
0.05			
0.05			
0.01			
0.02			
0.03			

6. ضع القطعة الخشبية بصورة ثابتة عند منتصف السطح المائل كما في **الشكل 2**، ثمّ حدد نقطة على السطح المائل على أن ترتفع 1 cm عن المستوى الأفقي للمسار، وليس 1 cm فوق سطح الطاولة.
7. دع الكرة تتدحرج من هـــذه النقطة، وقس الزمن اللازم لقطع طول المسار الأفقي وسجله في جدول البيانات.
8. حدّد نقطة على السطح المائل باستخدام مسطرة على أن ترتفع هذه النقطة 2 cm فوق السطح الأفقي للمسار، ودع الكرة تتدحرج من هذه النقطة، ثم قس الزمن اللازم لقطع طول المسار الأفقي وسجله في جدول البيانات.
9. أعـــد الخطوة 8 من ارتفاع 6 cm، 5 cm، 4 cm، 3 cm، 8 cm، 7 cm، وسجل الزمن.

التحليل

1. **استدل** ما أثر تغير ميل السطح المائل في سرعة الكرة على السطح الأفقي للمسار في الخطوات 6–2؟
2. **حلّل** ارسم رســـمًا بيانيًّا يمثل سرعة الكرة على المسار الأفقي (y) مقابل الارتفاع الذي سقطت منه الكرة (x). هل العلاقة خطية؟ ثم ارســـم رسمًا بيانيًّا يمثل مربع السرعة مقابل الارتفاع. هل العلاقة خطية الآن؟
3. استخدم المعلومات في الخطوة 9 عند ارتفاع السقوط 8 cm لإيجاد طاقة الوضع للكرة قبل سقوطها مباشرة. استخدم الميزان الإلكتروني لإيجاد كتلة الكرة، ولاحظ أن الارتفاع يجب أن يكون مقيسًا بوحدة m، والكتلة بوحدة kg.
4. اســـتخدم بيانات السرعة في الخطوة 9 عند ارتفاع السقوط 8 cm في حساب الطاقة الحركية للكرة في المستوى الأفقي للمســـار. وتذكّر أن وحدة قياس السرعة m/s والكتلة بوحدة kg.

الاستنتاج والتطبيق

1. أوجد معادلة حساب السرعة y بدلالة الارتفاع x، وابدأ من $PE_i = KE_f$.
2. هل تتفق العلاقة المســـتنتجة في السؤال السابق مع العلاقة من الرسم البياني؟
3. طبق العلاقة التي اســـتنتجتها لحساب الارتفاع الذي يجب أن تسقط الكرة منه لتكون سرعتها على المسار الأفقي ضعف ما كانت عليه عندما أسقطت من ارتفاع 2 cm.
4. وضح كيف تمثل هذه التجربة نموذجًا لسقوط الكرة مباشرة في اتجاه الأرض، ومن ثم تحديد الطاقة الحركية للكرة لحظة ارتطامها بالأرض.
5. **قارن** قارن بين طاقة الوضع للكرة قبل السقوط والطاقة الحركية للكرة على السطح الأفقي (الخطوتان 8،9) ووضح لماذا تساوتا أو اختلفتا؟
6. **استخلص النتائج** هل تثبت هذه التجربة قانون حفظ الطاقة؟ وضح ذلك.

التوسع في البحث

ما مصادر الخطأ في هذه التجربة؟ وكيف تستطيع التقليل منها؟

الفيزياء في الحياة

كيف توضح حركة العربات على المسارات المتعرجة في مدينة الملاهي مبدأ حفظ الطاقة بتحوّل طاقة الوضع إلى طاقة حركية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

التقنية والمجتمع

تقنيات ذكية للجري Running Smarter

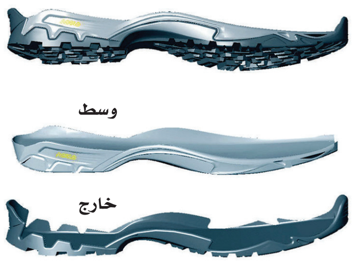
الفيزياء والأحذية الرياضية أصبحت أحذية الجري اليوم ذات تقنية عالية ومدهشة، وقد تحسّن أداؤها بصورة رائعة، بحيث تحمي الجسم وتعمل عمل ماصّ للصدمات. كيف يساعدك حذاء الجري على الفوز في المسابقة؟ يقلل حذاء الجري من استهلاك الطاقة كما يجعلك توظفها بفاعلية أكبر.

ويكون الحذاء الرياضي الجيد مرنًا بصورة كافية للانحناء مع قدمك في أثناء الجري، ويدعم قدميك ويثبتها في مكانها، وهو خفيف الوزن يشدّ قدميك ويمنعها من الانزلاق.

حذاء الجري ماص للصدمة هناك اهتمام كبير بتقنيات وسادة الامتصاص في حذاء الجري، وتطوير دوره الأساسي بوصفه ماصًّا للصدمات وتحسين عمله. يدفع حذاء لاعب الجري الأرض، وفي الوقت نفسه تؤثر الأرض في الحذاء بمقدار القوة نفسه في الاتجاه المعاكس. و يساوي مقدار هذه القوة أربعة أمثال وزن اللاعب تقريبًا. كما تسبب هذه القوة الألم والجهد، والتهاب عضلة الساق، وتؤذي الكاحل والركبة خلال الجري لمسافات طويلة.

وتستخدم وسادة الامتصاص في حذاء الجري لتقليل القوة التي يمتصها اللاعب؛ فعندما تضرب قدم اللاعب الأرض وتتوقف يتغير زخمها. ويعبر عن التغير في الزخم بـ $\Delta p = F\Delta t$ ، حيث F القوة المؤثرة في الجسم، Δt زمن تأثير القوة. وتعمل البطانة هنا على جعل زمن التغير في الزخم طويلاً، مما يقلّل من تأثير قوة دفع القدم للأرض، وهذا يقلل أيضًا من الضرر الذي يلحق بجسم اللاعب.

حذاء الجري يزيد الأداء يؤثر نظام وسادة الامتصاص في الحذاء في استهلاك الطاقة؛ فالعظام والعضلات والأربطة والأوتار تشكّل نظام امتصاص طبيعي، ولكن استخدام هذا النظام الطبيعي يستهلك قدرًا من طاقة الجسم، وعند استخدام نظام الامتصاص في الحذاء يتمكّن الجسم من تحويل هذه الطاقة المختزنة للاستخدام في انقباض العضلات، حيث يستغلها اللاعب في الجري بسرعة أكبر.



توظف الأحذية الرياضية قانون حفظ الطاقة؛ فهي مزودة بنعل داخلي ذي بطانة مرنة يعيد للاعب أكبر مقدار ممكن من الطاقة التي يستهلكها، حيث تتحول الطاقة الحركية للاعب إلى طاقة وضع مرونية وطاقة حرارية عندما تضرب قدم اللاعب أرضية الملعب. وإذا استطاع اللاعب التقليل من الطاقة الحرارية الضائعة تتحول طاقة الوضع المرونية مرة أخرى إلى طاقة حركية مفيدة.

وتستخدم عادة المواد المرنة واللينة والمطاطية التي تقاوم التحطم في صناعة بطانة النعل الداخلي للحذاء، ومن أمثلتها لبادة جل السليكون، ونظم الموائع المعقدة والنوابض.

التوسع في البحث

1. **فسّر علميًّا** استخدم المفاهيم الفيزيائية لتفسير سبب وضع المصانع وسادة امتصاص في أحذية الجري.
2. **حلّل** أي الأسطح الآتية يعطي اللاعب مرونة أكثر عند الركض: الملعب العشبي أم أرضية المشاة؟ وضح إجابتك.
3. **ابحث** لماذا يفضل بعض الناس الجري وهم حفاة، حتى في سباق الماراثون؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 5
دليل مراجعة الفصل

5–1 الأشكال المتعدّدة للطاقة The many Forms of Energy

المفردات

- طاقة الحركة الدورانية
- طاقة وضع الجاذبية
- مستوى الإسناد
- طاقة الوضع المرونية

المفاهيم الرئيسة

- تتناسب الطاقة الحركية لجسم طرديا مع كتلته و مربع سرعته.
- يمكن أن تكون الطاقة الحركية خطية أو دورانية.
- عندما تشكّل الأرض جزءًا من نظام معزول فإن الشغل المبذول من الجاذبية الأرضية يستبدل به طاقة الوضع الجاذبية.
- تعتمد طاقة الوضع الجاذبية لجسم ما على وزن الجسم وعلى ارتفاعه عن سطح الأرض.

$$PE = mgh$$

- يكون موقع مستوى الإسناد في النقطة التي نفترض عندها طاقة الوضع الجاذبية الأرضية صفرًا.
- يمكن أن تُختزن طاقة الوضع المرونية في جسم نتيجة تغير شكل الجسم.
- يقول أينشتاين: إن للكتلة نفسها طاقة وضع، وتُسمى هذه الطاقة بالطاقة السكونية.

$$E_0 = mc^2$$

5–2 حفظ الطاقة Conservation of Energy

المفردات

- قانون حفظ الطاقة
- الطاقة الميكانيكية
- التصادم فوق المرن (الانفجاري).
- التصادم المرن
- التصادم العديم المرونة

المفاهيم الرئيسة

- يُسمّى مجموع طاقتي الوضع والحركة الطاقة الميكانيكية $E = KE + PE$
- إذا لم يدخل أي جسم إلى النظام أو يخرج منه فإن هذا النظام يعدّ نظامًا مغلقًا.
- إذا لم تؤثر قوة خارجية في النظام فإن هذا النظام يعد نظامًا معزولاً.
- مجموع الطاقة في النظام المغلق المعزول ثابت داخل النظام الواحد، حيث تتغير الطاقة من شكل إلى آخر، ويبقى مجموعها ثابتًا؛ لذا فالطاقة محفوظة.

$$KE_{\text{قبل}} + PE_{\text{قبل}} = KE_{\text{بعد}} + PE_{\text{بعد}}$$

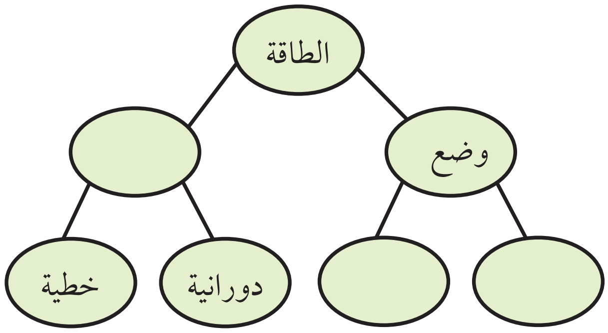
- يُسمى التصادم الذي تزيد فيه الطاقة الحركية بعد التصادم عنها قبل التصادم بالتصادم الفوق مرن
- يُسمى التصادم الذي تكون الطاقة الحركية بعده أقل منها قبله التصادم العديم المرونة.
- يُسمى التصادم الذي تكون الطاقة الحركية قبله مساوية لما بعده التصادم المرن.
- إذا كانت القوة الخارجية المؤثرة صفرًا، فالزخم محفوظ في التصادم. أما بالنسبة للطاقة الحركية فقد تبقى محفوظة أو تقل نتيجة التصادم، حيث يعتمد ذلك على نوع التصادم (مرنًا أم عديم المرونة).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 5
التقويم

خريطة المفاهيم

28. أكمل خريطة المفاهيم بالمصطلحات الآتية: طاقة الوضع الجاذبية، طاقة الوضع المرونية، الطاقة الحركية.



إتقان المفاهيم

في جميع المسائل اللاحقة، افترض أن مقاومة الهواء مهملة، إلا إذا أعطيت قيمتها.

29. وضّح العلاقة بين الشغل المبذول والتغير في الطاقة. (5-1)
30. ما نوع الطاقة في ساعة تعمل بضغط النابض؟ وما نوع الطاقة في الساعة الميكانيكية؟ وماذا يحدث للطاقة عندما تتوقف الساعة عن العمل؟ (5-1)
31. وضح كيفية ارتباط تغير الطاقة مع القوة؟ (5-1)
32. أُسقطت كرة من أعلى مبنى، فإذا اخترت أعلى المبنى بوصفه مستوى إسناد، في حين اختار زميلك أسفل المبنى بوصفه مستوى إسناد، فوضح هل تكون حسابات الطاقة نفسها أم مختلفة وفقًا لمستوى الإسناد في الحالات الآتية؟ (5-1)
    a. طاقة وضع الكرة عند أي نقطة.
    b. التغير في طاقة وضع الكرة نتيجة السقوط.
    c. الطاقة الحركية للكرة عند أي نقطة.
33. هل هناك حالة يمكن أن تكون فيها الطاقة الحركية لكرة البيسبول سالبة؟ (5-1)
34. هل هناك حالة يمكن أن تكون فيها طاقة الوضع لكرة البيسبول سالبة؟ وضح ذلك دون استخدام معادلات. (5-1)
35. إذا زادت سرعة عدّاء إلى ثلاثة أضعاف سرعته الابتدائية، فما معامل تزايد طاقته الحركية؟ (5-1)
36. ما تحولات الطاقة عندما يقفز لاعب الوثب بالزانة؟ (5-2)
37. لماذا تتغير الوثبة كثيرًا في رياضة الوثب بالزانة عندما تستبدل بالعصا الخشبية القاسية عصا مرنة أو عصا مصنوعة من الألياف الزجاجية؟ (5-2)
38. عندما قُذفت كرة طينية في اتجاه قرص الهوكي المطاطي الموضوع على الجليد التحمت الكرة المندفعة وقرص الهوكي المطاطي معًا، وتحركا ببطء. (5-2)
    a. هل الزخم محفوظ في التصادم؟ وضح ذلك.
    b. هل الطاقة الحركية محفوظة في التصادم؟ وضح ذلك.
39. مثّل بيانيًا بالأعمدة كلًّا من العمليات الآتية: (5-2)
    a. انزلاق مكعب من الجليد، بادئًا حركته من السكون، على سطح مائل عديم الاحتكاك.
    b. انزلاق مكعب من الجليد صاعدًا أعلى سطح مائل عديم الاحتكاك، ثم توقفه لحظيًّا.
40. صف تحول الطاقة الحركية إلى طاقة وضع وبالعكس لشخص يركب في الأفعوانية جولة كاملة. (5-2)
41. صف كيفية فقدان طاقة الحركة وطاقة الوضع المرونية عند ارتداد كرة مطاطية، وصف ما يحدث لحركة الكرة. (5-2)

تطبيق المفاهيم

42. استخدم سائق سيارة سباق الكوابح لإيقافها. طبق نظرية الشغل – الطاقة في الأوضاع الآتية: (على اعتبار أن النظام يحوي السيارة ولا يتضمن الطريق).
    a. إذا كانت عجلات السيارة تتدحرج دون انزلاق.
    b. انزلقت عجلات السيارة عندما استخدمت الكوابح.
43. تسير سيارة صغيرة وشاحنة كبيرة بالسرعة نفسها. أيهما يبذل شغلاً أكبر: محرك السيارة أم محرك الشاحنة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

44. **المنجنيق** استخدمت جيوش المسلمين مدفع المنجنيق في فتوحاتهم. حيث يعمل بعض هذه الأنواع باستخدام حبل مشدود، وعندما يُرخى الحبل ينطلق ذراع المنجنيق. ما نوع الطاقة المستخدمة عند قذف الصخرة بالمنجنيق؟

45. تصادمت سيارتان وتوقفتا تمامًا بعد التصادم، فأين ذهبت طاقتاهما؟

46. بُذل شغل موجب على النظام خلال عملية معينة، فقلّت طاقة الوضع. هل تستطيع أن تستنتج أي شيء حول التغير في الطاقة الحركية للنظام؟ وضح ذلك.

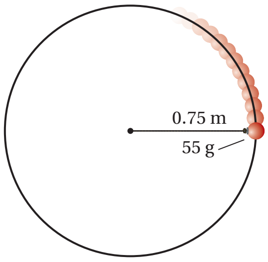
47. بُذل شغل موجب على النظام خلال عملية معينة، فزادت طاقة الوضع. هل تستطيع أن تحدد ما إذا كانت الطاقة الحركية للنظام زادت، أو قلت، أو بقيت كما هي؟ وضح ذلك.

48. **التزلج** يتحرك متزلجان مختلفان في الكتلة بالسرعة نفسها وفي الاتجاه نفسه، فإذا أثر الجليد في المتزلجين بقوة الاحتكاك نفسها فقارن بين مسافة التوقف لكل منهما.

49. إذا دوّرت جسمًا كتلته 55 g في نهاية خيط طوله 0.75 m حول رأسك في مستوى دائري أفقي بسرعة ثابتة، كما في **الشكل 15–5**

a. فما مقدار الشغل المبذول على الجسم من قوة الشد في الخيط في دورة واحدة؟

b. وهل تتفق إجابتك في الفرع (**a**) مع نظرية الشغل – الطاقة؟ وضح ذلك.



الشكل 15–5

50. أعطِ أمثلة محددة توضح العمليات الآتية:

a. بُذل شغل على نظام ما فازدادت الطاقة الحركية ولم تتغير طاقة الوضع.

b. تحول طاقة الوضع إلى طاقة حركية دون أن يُبذل شغل على النظام.

c. بُذل شغل على النظام، فازدادت طاقة الوضع ولم تتغير الطاقة الحركية.

d. بذل النظام شغلاً فقلّت الطاقة الحركية ولم تتغير طاقة الوضع.

51. **الأفعوانية** إذا كلفت بتعديل تصميم أفعوانية، وطلب المالك إليك أن تجعل اللعب عليها أكثر إثارة عن طريق جعل السرعة في أسفل المنحدر الأول ضعف السرعة قبل التعديل. فكم يكون ارتفاع المنحدر الأول للأفعوانية بالنسبة لارتفاعه الأصلي؟

52. قُذفت كرتان متماثلتان من قمة منحدر عالٍ، إحداهما رأسيًا إلى أعلى، والأخرى رأسيًا إلى أسفل وكان لها مقدار السرعة الابتدائية نفسه. قارن بين طاقتيهما الحركية، وسرعتيهما عندما ترتطمان بالأرض؟

إتقان حلّ المسائل

1–5 الأشكال المتعددة للطاقة

53. تتحرك سيارة كتلتها 1600 kg بسرعة 12.5 m/s. ما طاقتها الحركية؟

54. ما مقدار الطاقة الحركية لسيارة سباق كتلتها 1525 kg، عندما تكون سرعتها 108 km /h؟

55. مجموع كتلتي خليل ودراجته 45.0 kg. فإذا قطع خليل 1.80 km خلال 10.0 min بسرعة ثابتة، فما مقدار طاقته الحركية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

.56 كتلة خالد 45 kg ويسير بسرعة 10.0 m /s.

a. أوجد طاقته الحركية.

b. إذا تغيرت سرعة خالد إلى 5.0 m /s، فاحسب طاقته الحركية الآن.

c. أوجد نسبة الطاقة الحركية في الفرع **a** إلى الطاقة الحركية في الفرع **b**. وفسر ذلك.

.57 كتلة كل من أسماء وآمنة متساويتان وتساوي 45 kg، وقد تحركتا معًا بسرعة 10.0 m /s كجسم واحد.

a. ما مقدار الطاقة الحركية لهما معًا؟

b. ما نسبة كتلتيهما معًا إلى كتلة أسماء؟

c. ما نسبة طاقتيهما الحركية معًا إلى الطاقة الحركية لأسماء؟ فسر إجابتك.

.58 **القطار** في فترة الخمسينيات من القرن الماضي، استُخدم قطار تجريبي كتلته 2.5×10^4 kg، وقد تحرك في مسار مستو بمحرك نفاث يؤثر بقوة دفع مقدارها 5.00×10^5 N خلال مسافة 509 m . فما مقدار:

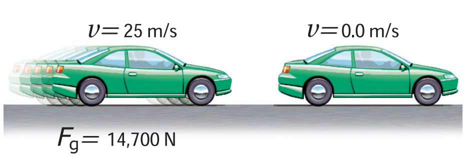
a. الشغل المبذول على القطار؟

b. التغير في الطاقة الحركية للقطار؟

c. الطاقة الحركية النهائية للقطار إذا بدأ حركته من السكون؟

d. السرعة النهائية للقطار إذا أهملنا قوى الاحتكاك؟

.59 **مكابح السيارة** تتحرك سيارة وزنها 14700 N بسرعة 25 m /s، وفجأة استخدم السائق المكابح، وأخذت السيارة في التوقف، كما في **الشكل 16–5**. فإذا كان متوسط قوة الاحتكاك بين عجلات السيارة والطريق تساوي 7100 N فما المسافة التي تتحركها السيارة قبل أن تتوقف؟



الشكل 16–5

.60 تتحرك عربة صغيرة كتلتها 15.0 kg بسرعة متجهة مقدارها 7.50 m /s على مسار مستوٍ، فإذا أثرت فيها قوة مقدارها 10.0 N فتغيرت سرعتها وأصبحت 3.20 m /s، فما مقدار:

a. التغير في الطاقة الحركية للعربة؟

b. الشغل المبذول على العربة؟

c. المسافة التي ستتحركها العربة خلال تأثير القوة؟

.61 يتسلق عليّ حبلاً في صالة اللعب مسافة 3.5 m. ما مقدار طاقة الوضع التي يكتسبها إذا كانت كتلته 60.0 kg؟

.62 **البولنج** احسب الزيادة في طاقة الوضع لكرة بولنج كتلتها 6.4 kg عندما ترفع 2.1 m إلى أعلى نحو رف الكرات.

.63 احسب التغير في طاقة الوضع لخديجة عندما تهبط من الطابق العلوي إلى الطابق السفلي مسافة 5.50 m، علمًا بأن وزنها 505 N؟

.64 **رفع الأثقال** يرفع لاعب أثقالاً كتلتها 180 kg مسافة 1.95 m. فما الزيادة في طاقة وضع الأثقال؟

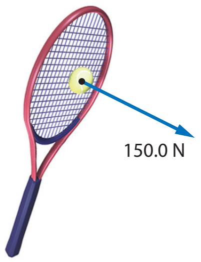
.65 أُطلق صاروخ تجريبي كتلته 10.0 kg رأسيًّا إلى أعلى من محطة إطلاق. فإذا أعطاه الوقود طاقة حركية مقدارها 1960 J خلال زمن احتراق وقود المحرك كله. فما الارتفاع الإضافي (عن ارتفاع المنصة) الذي سيصل إليه الصاروخ؟

.66 ترفع نبيلة كتاب فيزياء وزنه 12.0 N من سطح طاولة ارتفاعها عن سطح الأرض 75 cm إلى رف يرتفع 2.15 m فوق سطح الأرض، فما مقدار التغير في طاقة الوضع للنظام؟

.67 صُمّم جهازٌ ليظهر مقدار الطاقة المبذولة. يحوي الجهاز جسمًا مربوطًا بحبل، فإذا سحب شخص الحبل ورفع الجسم مسافة 1.00 m، فسيشير مقياس الطاقة إلى أن 1.00 J من الشغل قد بُذل. فما مقدار كتلة الجسم؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

68. **التنس** من الشائع عند لاعبي التنس الأرضي المحترفين أن المضرب يؤثر في الكرة بقوة متوسطة مقدارها 150.0 N. فإذا كانت كتلة الكرة 0.060 kg ولامست أسلاك المضرب مدة 0.030 s كما في **الشكل 17–5**، فما مقدار الطاقة الحركية للكرة لحظة ابتعادها عن المضرب؟ افترض أن الكرة بدأت الحركة من السكون.



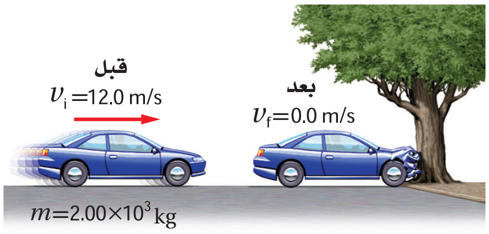
■ **الشكل 17–5**

69. يحمل طارق صاروخ دفع نفاث، ويقف على سطح جليدي عديم الاحتكاك. فإذا كانت كتلة طارق 45 kg وزوّد الصاروخ طارقًا بقوة ثابتة لمسافة 22.0 m فاكتسب طارق سرعة مقدارها 62.0 m/s .

a. ما مقدار الطاقة الحركية النهائية لطارق؟

b. ما مقدار القوة؟

70. **التصادم** اصطدمت سيارة كتلتها 2.00×10^3 kg وسرعتها 12.0 m/s بشجرة، فلم تتحرك الشجرة وتوقفت السيارة كما في **الشكل 18–5**.



■ **الشكل 18–5**

a. ما مقدار التغير في الطاقة الحركية للسيارة؟

b. ما مقدار الشغل المبذول عندما ترتطم مقدمة السيارة بالشجرة؟

c. احسب مقدار القوة التي أثرت في مقدمة السيارة لمسافة 50.0 cm.

71. أثرت مجموعة من القوى على حجر وزنه 32 N، فكانت محصلة القوى عليه ثابتة ومقدارها 410 N، وتؤثر في اتجاه رأسي، فإذا استمر تأثير القوة المحصلة على الحجر حتى رفعته إلى مسافة 2.0 m، ثم توقف تأثير القوة، فما المسافة الرأسية التي سيرتفعها الحجر من نقطة توقف تأثير القوة فيه؟

5–2 حفظ الطاقة

72. رُفع كيس حبوب وزنه 98.0 N إلى غرفة تخزين ارتفاعها 50.0 m فوق سطح الأرض باستخدام رافعة الحبوب.

a. ما مقدار الشغل المبذول؟

b. ما مقدار الزيادة في طاقة وضع كيس الحبوب عند هذا الارتفاع ؟

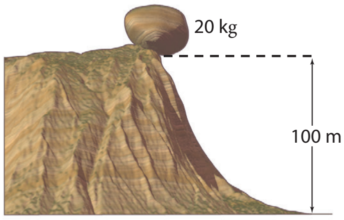
c. إذا انقطع الحبل المستخدم لرفع كيس الحبوب بالضبط عندما وصل الكيس إلى ارتفاع غرفة التخزين، فما مقدار الطاقة الحركية للكيس قبل أن يصطدم بسطح الأرض مباشرة؟

73. تستقر صخرة كتلتها 20 kg على حافة منحدر ارتفاعه 100 m كما في **الشكل 19–5**.

a. ما مقدار طاقة وضعها بالنسبة لقاعدة الجرف؟

b. إذا سقطت الصخرة فما مقدار الطاقة الحركية للصخرة لحظة ارتطامها بالأرض؟

c. ما مقدار سرعة الصخرة لحظة ارتطامها بالأرض؟



■ **الشكل 19–5**

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

.74 **الرماية** وضع أحد الرماة سهمًا كتلته 0.30 kg في القوس، وكان متوسط القوة المؤثرة عند سحب السهم للخلف مسافة 1.3 m تساوي 201 N.

.a إذا اختزنت الطاقة كلها في السهم، فما سرعة انطلاق السهم من القوس؟

.b إذا انطلق السهم رأسيًّا إلى أعلى، فما الارتفاع الذي يصل إليه؟

.75 صخرة كتلتها 2.0 kg في حالة سكون، ثم سقطت إلى الأرض ففقدت 407 J من طاقة وضعها. احسب الطاقة الحركية التي اكتسبتها الصخرة بسبب سقوطها، وما مقدار سرعة الصخرة قبل ارتطامها بالأرض مباشرة؟

.76 سقط كتاب فيزياء مجهول الكتلة من ارتفاع 4.50 m. ما مقدار سرعة الكتاب لحظة ارتطامه بالأرض؟

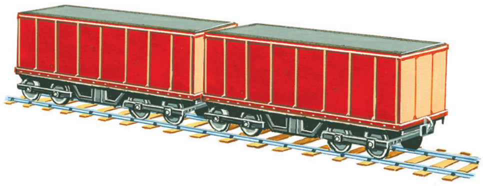
.77 **عربة القطار** اصطدمت عربة قطار كتلتها 5.0×10^5 kg بعربة أخرى ساكنة لها الكتلة نفسها، وتحركت العربتان معًا بعد التصادم كجسم واحد بسرعة 4.0 m/s كما في **الشكل 20–5**.

.a فإذا كانت سرعة العربة الأولى قبل التصادم 8.0 m/s، فاحسب زخمها؟

.b ما مقدار الزخم للعربتين معًا بعد التصادم؟

.c ما مقدار الطاقة الحركية للعربتين قبل التصادم وبعده؟

.d أين ذهبت الطاقة الحركية التي خسرتها العربتان؟



■ **الشكل 20–5**

.78 أي ارتفاع يجب أن تسقط منه سيارة صغيرة حتى يكون لها الطاقة الحركية نفسها عندما تسير بسرعة 1.00×10^2 km/h؟

.79 تزن عبير 420 N وتجلس على أرجوحة ترتفع 0.40 m عن سطح الأرض. فإذا سحبت أمها الأرجوحة إلى الخلف حتى أصبحت على ارتفاع 1.0 m عن سطح الأرض ثم تركتها.

.a ما مقدار سرعة عبير عندما تمر بالنقطة الأقل ارتفاعًا عن سطح الأرض في مسارها؟

.b إذا مرت عبير بالنقطة الأقل ارتفاعًا عن سطح الأرض بسرعة 2.0 m/s، فما مقدار شغل الاحتكاك المبذول على الأرجوحة؟

.80 أسقطت ليلى رأسيًّا كرة كتلتها 10.0 g من ارتفاع 2.0 m عن سطح الأرض. فإذا كانت سرعة الكرة عند ملامستها سطح الأرض 7.5 m/s فما مقدار السرعة الابتدائية للكرة؟

.81 **الانزلاق** تسلق منذر سُلّم منحدر تزلج ارتفاعه 4.8 m، ثم انزلق فكانت سرعته في أسفل منحدر التزلج 3.2 m/s. ما مقدار الشغل المبذول من قوة الاحتكاك على منذر إذا كانت كتلته 28 kg؟

.82 يتسلق شخص وزنه 635 N سُلّمًا رأسيًّا ارتفاعه 5.0 m. أجب عما يأتي معتبرًا أن الشخص والأرض يشكلان نظامًا واحدًا.

.a مثّل بيانيًّا بالأعمدة الطاقة في النظام قبل بدء الشخص في التسلق، وبعد وصوله إلى أقصى ارتفاع. هل تتغير الطاقة الميكانيكية؟ وإذا كان كذلك، فما مقدار التغير؟

.b من أين جاءت الطاقة؟

.83 يتأرجح شمبانزي من شجرة لأخرى في غابة. إذا تعلّق

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

بغصن متدلٍّ طوله 13 m ثم بدأ تأرجحه بزاوية تميل عن الرأسي بمقدار 45°، فما سرعة الشمبانزي عندما يكون الغصن المتدلي رأسيًّا تمامًا؟

مراجعة عامة

84. عربة صغيرة كتلتها 0.80 kg تهبط من فوق تل عديم الاحتكاك ارتفاعه 0.32 m عن سطح الأرض، وفي قاع التل سارت العربة على سطح أفقي خشن يؤثر في العربة بقوة احتكاك مقدارها 2.0 N، ما المسافة التي تتحركها العربة على السطح الأفقي الخشن قبل أن تتوقف؟

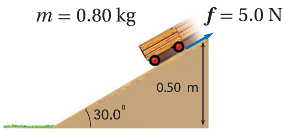
85. **القفز بالزانة** السجل العالمي للقفز بالزانة (الوثب العالي) للرجال 2.45 m تقريبًا. ما أقل مقدار من الشغل يجب أن يُبذل لدفع لاعب كتلته 73 kg عن سطح الأرض حتى يصل إلى هذا الارتفاع؟

86. **كرة القدم** تصادم لاعب كتلته 110 kg بلاعب آخر كتلته 150 kg، وتوقف اللاعبان تمامًا بعد التصادم. فأي اللاعبين كان زخمه قبل التصادم أكبر؟ وأيهما كانت طاقته الحركية قبل التصادم أكبر؟

87. عربتا مختبر كتلتاهما على الترتيب 1.0 kg، 2.0 kg رُبطتا معًا بنهايتي نابض مضغوط. وتحركتا معًا بسرعة 2.1 m/s في الاتجاه نفسه. وفجأة تحرر النابض ليصبح غير مضغوط فدفع العربتين بحيث توقفت العربة ذات الكتلة 2 kg، في حين تحركت العربة ذات الكتلة 1.0 kg إلى الأمام. ما مقدار الطاقة التي أعطاها النابض للعربتين؟

88. تأرجح لاعب سيرك كتلته 55 kg بحبل بادئًا من منصة ارتفاعها 12.0 m، وفي أثناء نزوله حمل قردًا كتلته 21.0 kg ليضعه على منصة أخرى، فما أقصى ارتفاع ممكن للمنصة؟

89. سقطت عربة كتلتها 0.8 kg من أعلى مسار مائل يرتفع 0.50 m عن سطح الأرض، ويميل على الأفقي بزاوية 30° كما في **الشكل 21–5**، وكانت المسافة التي تتحركها العربة حتى أسفل المسار ($0.5\,m/\sin 30° = 1.0\,m$). فإذا أثرت قوة احتكاك السطح في العربة بقوة 5.0 N، فهل تصل العربة إلى أسفل المسار؟



■ **الشكل 21–5**

90. **الهوكي** تحرك لاعب هوكي كتلته 90.0 kg بسرعة 5.0 m/s، واصطدم بلاعب هوكي آخر كتلته 110 kg يتحرك بسرعة 3.0 m/s في الاتجاه المعاكس، وتحركا بعد التصادم كجسم واحد بسرعة 1.0 m/s. ما مقدار الطاقة المفقودة نتيجة التصادم؟

التفكير الناقد

91. **تطبيق المفاهيم** تستقر كرة جولف كتلتها 0.046 kg على الحامل الخاص بها. فإذا ضُربت بمضرب كتلته 0.220 kg فانطلقت الكرة بسرعة 44 m/s، فاحسب سرعة الكرة لحظة انطلاقها على افتراض أن التصادم مرن.

92. **تطبيق المفاهيم** يعد اصطدام طائر بالزجاج الأمامي لسيارة متحركة مثالاً على تصادم جسمين كتلة أحدهما عدة أضعاف كتلة الآخر، ومن ناحية أخرى يعد تصادم كرتي بلياردو مثالاً على تصادم جسمين متساويين في الكتلة، فكيف تتحول الطاقة في هذه التصادمات؟ ادرس تصادمًا مرنًا بين كرة بلياردو كتلتها m_1 وسرعتها v_1 بكرة أخرى ساكنة كتلتها m_2.

a. إذا كانت $m_1 = m_2$، فما النسبة بين الطاقة المنقولة إلى m_2 والطاقة الابتدائية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

b. إذا كانت $m_1>>m_2$ ، فما النسبة بين الطاقة المنقولة إلى m_2 والطاقة الابتدائية؟

c. يتم تبطئة النيوترونات في المفاعل النووي عن طريق تصادمها بالذرات (كتلة النيوترون تساوي تقريبًا كتلة البروتون)، فأيّ الذرات الآتية مناسبة لتحقيق الهدف: الهيدروجين، أم الكربون، أم الأرجون؟

93. **التحليل والاستنتاج** يكون كل من الزخم والطاقة الميكانيكية محفوظًا في التصادم التام المرونة. فإذا تصادمت كرتان كتلتاهما على الترتيب m_A، m_B، وسرعتاهما v_A، v_B تتجهان إحداهما نحو الأخرى. فاستنتج المعادلات المناسبة لحساب سرعة كل منهما بعد التصادم؟

94. **التحليل والاستنتاج** قذفت كرة كتلتها 25 g بسرعة v_1 نحو كرة أخرى ساكنة كتلتها 125 g ومعلقة بخيط رأسي طوله 1.25 m. فإذا كان التصادم بين الكرتين تام المرونة، وتحركت الكرة المعلقة بحيث صنع خيط التعليق زاوية 37.0° مع الرأسي، حيث توقفت لحظيًّا فاحسب v_1؟

الكتابة في الفيزياء

95. **الشمس مصدر طاقة** في أي شكل من أشكال الطاقة تصل إلينا الطاقة الشمسية لتجعلنا نحيا وتجعل مجتمعنا يعمل؟ ابحث في الطرائق التي تتحول بها الطاقة الشمسية إلى أشكال يمكن لنا استخدامها. وأين تذهب الطاقة الشمسية بعد أن نستخدمها؟ وضح ذلك.

96. تصنف جميع أشكال الطاقة إلى طاقة حركية أو طاقة وضع. فكيف تصف كلاًّ من الطاقة النووية، والكهربائية والكيميائية والبيولوجية والشمسية والضوئية؟ ولماذا؟

ابحث في الأجسام المتحركة في كل شكل من أشكال الطاقة هذه، وكيف تختزن الطاقة في هذه الأجسام؟

مراجعة تراكمية

97. تنطلق رصاصة كتلتها 5.00 g بسرعة 100.0 m /s في اتجاه جسم صلب كتلته 10.0 kg مستقر على سطح مستوٍ عديم الاحتكاك. (الفصل 3)

a. ما مقدار التغير في زخم الرصاصة إذا استقرت داخل الجسم الصلب؟

b. ما مقدار التغير في زخم الرصاصة إذا ارتدت في الاتجاه المعاكس بسرعة 99 m /s؟

c. في أي الحالتين السابقتين سيتحرك الجسم بسرعة أكبر؟

98. يجب التأثير بقوة رفع مقدارها 15 kN على الأقل لرفع سيارة. (الفصل 4)

a. ما مقدار الفائدة الميكانيكية للرافعة القادرة على تقليص القوة (المسلّطة) إلى 0.10 kN؟

b. إذا كانت فاعلية الرافعة 75 %، فما المسافة التي يجب أن تؤثر خلالها القوة لترفع السيارة مسافة 33 cm؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

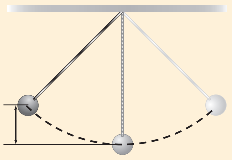
اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. زادت سرعة دراجة هوائية من 4.0 m /s إلى 6.0 m /s. فإذا كانت كتلة راكب الدراجة والدراجة 55 kg، فما الشغل الذي بذله سائق الدراجة لزيادة سرعتها؟

Ⓐ 11 J   Ⓒ 55 J
Ⓑ 28 J   Ⓓ 550 J

2. يبين الشكل أدناه كرة كتلتها 4.0 kg معلقة بخيط، تتأرجح بشكل حرّ في مستوى محدد. فإذا كانت مقاومة الهواء مهملة، فما أقصى سرعة تبلغها الكرة في أثناء تأرجحها؟

Ⓐ 0.14 m /s   Ⓒ 7.0 m /s
Ⓑ 98 m /s   Ⓓ 49 m /s



3. ما مقدار الطاقة اللازمة لرفع صندوقٍ كتلته 4.5 kg من الأرض إلى رف يرتفع 1.5 m فوق سطح الأرض؟

Ⓐ 9.0 J   Ⓒ 11 J
Ⓑ 49 J   Ⓓ 66 J

4. أسقطت كرة كتلتها 6.0×10^{-2} kg من ارتفاع 1.0 m فوق سطح مستوٍ صلب، وعندما ضربت الكرة بالسطح فقدت 0.14 J من طاقتها، ثم ارتدت مباشرة إلى أعلى. ما مقدار الطاقة الحركية للكرة لحظة ارتدادها عن السطح المستوي؟

Ⓐ 0.20 J   Ⓒ 0.45 J
Ⓑ 0.59 J   Ⓓ 0.73 J

5. عند رفع جسم كتلته 2.5 kg من رف يرتفع 1.2 m عن سطح الأرض إلى رف يرتفع 2.6 m فوق سطح الأرض، فما مقدار التغير في طاقة وضع الجسم؟

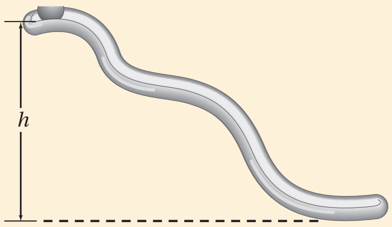
Ⓐ 1.4 J   Ⓒ 3.5 J
Ⓑ 25 J   Ⓓ 34 J

6. تتحرك كرة كتلتها m بسرعة v_1 على سطح أفقي عندما اصطدمت بحائط مبطن، ثم ارتدت عنه في الاتجاه المعاكس. فإذا أصبحت طاقتها الحركية نصف ما كانت عليه قبل التصادم، وأهملنا الاحتكاك، فأي مما يأتي يعبر عن سرعة الكرة بعد التصادم بدلالة سرعتها قبل التصادم؟

Ⓐ $\frac{1}{2}v_1$ Ⓒ $\sqrt{2}\,v_1$
Ⓑ $\frac{\sqrt{2}}{2}\,v_1$ Ⓓ $2v_1$

7. يبين الشكل أدناه كرة على مسار منحنٍ، فإذا تحركت الكرة بدءًا من السكون في أعلى المسار ووصلت إلى السطح الأفقي في أسفله على الأرض بسرعة 14 m /s، وأهملنا الاحتكاك، فما الارتفاع h من سطح الأرض حتى أعلى نقطة في المسار؟

Ⓐ 7 m   Ⓒ 10 m
Ⓑ 14 m   Ⓓ 20 m



الأسئلة الممتدة

8. وضع صندوق على نابض مضغوط على منصة، وعند إفلات النابض زود الصندوق بطاقة مقدارها 4.9 J، فاندفع الصندوق رأسيًّا إلى أعلى، فإذا كانت كتلة الصندوق 1.0 kg، فما أقصى ارتفاع يصل إليه الصندوق قبل أن يبدأ في السقوط؟

إرشاد

استخدام عمليات الحذف

في أثناء الإجابة عن سؤال الاختيار من متعدد، هناك طريقتان للوصول إلى الإجابة عن كل سؤال. إحداهما اختيار الجواب الصحيح مباشرة، أو حذف الإجابات التي تعرف أنها غير صحيحة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 6

الطاقة الحرارية
Thermal Energy

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تَعرُّف العلاقة بين الحـــرارة وطاقتي الوضع والحركة للذرات والجزيئات.
- التمييز بين الحرارة والشغل.
- حساب كمية الحرارة المنتقلة والطاقة الحرارية الممتصة.

الأهمية

تعد الطاقة الحرارية أمرًا حيويًّا للمخلوقات الحيـــة، وحدوث التفاعـــلات الكيميائية، وعمل المحركات.

الطاقة الشمسية تتمثل إحدى استراتيجيات إنتاج الطاقـــة الكهربائية في تركيز ضوء الشمس، باستخدام عدّة مرايا على مُجَمِّع واحد ليصبح ســـاخناً جداً، فتستعمل هذه الطاقة الحراريـــة لإدارة توربينات المولّد الكهربائي.

أما خطة الطاقة (2030) والتي تتبناها رؤية (2030)؛ فهي تعد الأكبر في مجال الطاقة الشمسية باستخدام ألواح (خلايا) شمسية تعمل على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية من مصدر نظيف ومتجدد بما لا يؤثر على البيئة.

فكِّر ◄

ما أشكال الطاقة التي يتخذها ضوء الشمس خلال عملية تحويل الطاقة الشمســـية إلى شـــغل يُســـتفاد منه عن طريق المحرك؟

الربط مع رؤية 2030

رؤية VISION 2030
المملكة العربية السعودية
KINGDOM OF SAUDI ARABIA

اقتصاد مزدهر

من أهداف الرؤية

٣.٢.٤ زِيادةُ مُساهمة مَصادِر الطَّاقة المُتَجَدِّدة في مَزِيج الطَّاقة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تجربة استهلالية

ما الذي يحدث عند تزويد كأس ماء بطاقة حرارية عن طريق حمله؟

سؤال التجربة ما الذي يحدث لدرجة حرارة الماء في الكأس عندما تحملها بيديك؟

الخطوات

1. ستحتاج إلى استعمال دورق سعته 250 ml وكمية من الماء مقدارها 150 ml.
2. اسكب الماء في الدورق.
3. سجل درجة حرارة الماء الابتدائية بوضع مقياس الحرارة في الماء، على ألا يلامس مستودع المقياس قاعدة الدورق أو جوانبه.
4. أبعد مقياس الحرارة، وأمسك بدورق الماء مدة دقيقتين بكلتا يديك، كما في الشكل.
5. دع زميلك في المختبر يسجل درجة حرارة الماء النهائية بوضع مقياس الحرارة في الدورق كما في الخطوة 3.

التحليل

احسب التغير في درجة حرارة الماء. وإذا كانت كمية الماء التي في الدورق أكبر، فهل يؤثر ذلك في تغير درجة الحرارة؟

التفكير الناقد فسر سبب تغير درجة حرارة الماء؟

1–6 درجة الحرارة والطاقة الحرارية Temperature and Thermal Energy

تسمى دراسة تحولات الحرارة إلى أشكال أخرى من أشكال الطاقة بالديناميكا الحرارية. وقد بدأت هذه الدراسات في القرن الثامن عشر عندما كان المهندسون يصنعون المحركات البخارية الأولى. حيث استخدمت هذه المحركات في تشغيل القطارات، والمصانع، ومضخات المياه في مناجم الفحم، وساهمت في شكل كبير في الثورة الصناعية في أوروبا والولايات المتحدة. ثم طور المهندسون مفاهيم جديدة حول كيفية ارتباط الحرارة مع الشغل المفيد في تصميم محركات أكثر كفاءة. وعلى الرغم من أن دراسة الديناميكا الحرارية بدأت في القرن الثامن عشر، إلا أنه لم يتم الربط بين مفاهيم الديناميكا الحرارية وحركة الذرات والجزيئات في المواد الصلبة والسوائل والغازات حتى عام 1900 تقريبًا.

تُستخدم اليوم مفاهيم الديناميكا الحرارية على نطاق واسع في التطبيقات المختلفة، ويستخدم المهندسون قوانين الديناميكا الحرارية في تطوير أداء الثلاجات، ومحركات المركبات، والطائرات، وآلات أخرى.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

الأهداف

- **تصف** الطاقة الحرارية وتقارنها بطاقة الوضع والطاقة الحركية.
- **تميز** بين درجة الحرارة والطاقة الحرارية.
- **تتعرّف** الحرارة النوعية.
- **تحسب** الحرارة المنقولة.

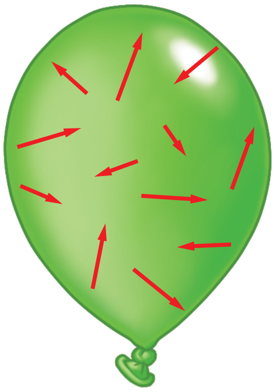
المفردات

- الطاقة الحرارية
- التوصيل الحراري
- الاتزان الحراري
- الحرارة
- الحمل الحراري
- الإشعاع الحراري
- الحرارة النوعية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الطاقة الحرارية Thermal Energy

درست سابقًا كيف تتصادم الأجسام وتتبادل طاقاتها الحركية. فعلى سبيل المثال، الجزيئات الموجودة في غازٍ ما لهـا طاقات حركية خطية ودورانية. وقد يكون للجزيئات طاقة وضع خلال اهتزازها وترابطها، فتصطدم مثلاً جزيئات الغاز بعضها ببعض ومع جدران الوعاء الذي يحويها؛ إذ تنتقل الطاقة فيما بينها خلال هذه العملية. وتتحرك عدة جزيئات بحرّية في الغاز، مؤدية إلى عدة تصادمات؛ لذا يكون من المناسب مناقشة الطاقة الكلية للجزيئات، ومتوسط الطاقة لكل جزيء. وتسمى الطاقة الكلية للجزيئات **بالطاقة الحرارية**. ويرتبط متوسط الطاقة لكل جزيء بدرجة حرارة الغاز.

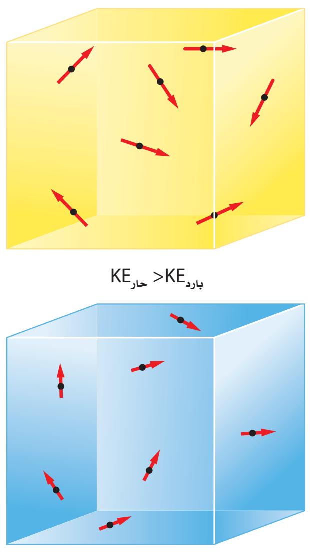


■ **الشكل 1–6** تصطدم ذرات الهيليوم في البالون بالجدار المطاطي، وتسبب تمدد البالون.

الأجسام الساخنة ما الذي يجعل الجسم ساخنًا؟ عندما تملأ بالونًا بغاز الهيليوم يتمدد مطاط البالون بفعل تصادم ذرات الغاز بجدار البالون بشكل متكرر؛ إذ تصطدم كل ذرة من بلايين ذرات غاز الهيليوم التي في البالون بجداره المطاطي، ثم ترتد إلى الخلف لتصطدم بالطرف الآخر من البالون، كما هو موضح في **الشكل 1–6**، وقد تلاحظ أن البالون يصبح أكبر قليلًا إذا عرضته لأشعة الشمس؛ لأن طاقة أشعة الشمس تجعل ذرات الغاز تتحرك أسرع؛ لذا تصطدم بالجدار بمعدل أكبر. ويؤدي كل تصادم ذري إلى إحداث قوة أكبر على جدار البالون؛ ولذا يتمدّد المطاط، ممّا يؤدي إلى تمدد البالون كليًّا.

أما إذا برّدتَ البالون فستلاحظ أنه ينكمش قليلاً؛ لأن خفض درجة الحرارة يبطئ من حركة ذرات الهيليوم. وهكذا فإن تصادماتها لا تنقل زخمًا يكفي لجعل البالون يتمدد بصورة كافية. وعلى الرغم من أن البالون يحتوي عدد الذرات نفسه، إلا أنه ينكمش.

المواد الصلبة لذرات المواد الصلبة طاقة حركية أيضًا، ولكنها لا تتمكن من الحركة بحرية مثل ذرات الغاز. والطريقة الوحيدة لتصور التركيب الجزيئي للمادة الصلبة، تكون برسم عدد من الذرات المرتبطة معًا بنوابض تسمح لها بالحركة في صورة ارتدادات مختلفة الشدة إلى الأمام، وإلى الخلف. ويكون لكل ذرة بعض الطاقة الحركية، وطاقة الوضع من خلال النوابض المرتبطة معها. فإذا وجدت مادة صلبة تحتوي العدد N من الذرات، فإن الطاقة الحرارية الكلية في المادة الصلبة تساوي متوسط طاقتي الحركة، والوضع لكل ذرة، مضروبًا في العدد N.



■ **الشكل 2–6** طاقة الحركة والوضع لجزيئات الجسم الساخن أكبر منها لجزيئات الجسم البارد.

الطاقة الحرارية ودرجة الحرارة
Thermal Energy and Temperature

للجسم الساخن طاقة حرارية أكبر من الجسم البارد المشابه له، كما هو موضح في **الشكل 2–6**، مما يعني أن الجزيئات في الجسم الساخن لها طاقة حرارية أكبر من الجزيئات في الجسم البارد. وهذا لا يعني أن جميع الجزيئات داخل الجسم لها كمية الطاقة نفسها، إنما لها مدى واسع من قيم الطاقة، ولجزيئات الجسم الساخنة متوسط طاقة أكبر من متوسط

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

طاقة جزيئات الجسـم البارد. ولفهم هذا افترض أنك تعرف أطوال طلاب الصف الثاني المتوسـط والصف الثالث الثانوي مثلاً، وأنك تستطيع حسـاب متوسط الطول لطلاب الصف الثالث الثانوي. وهذا المتوسط يميل إلى أن يكون أكبر من متوسط الطول لطلاب الصف الثاني المتوسـط، عـلى الرغم من أنه يمكن أن يكون بعـض طلاب الصف الثاني المتوسط أطول من بعض طلاب الصف الثالث الثانوي.

درجة الحرارة تعتمد درجة الحرارة على متوسط الطاقة الحركية للجزيئات في الجسم فقط. ولأن درجة الحرارة تعتمد على متوسـط طاقة حركة الجزيئـات، فإنها لا تعتمد على عدد الذرات في الجسـم. ولفهم ذلك افترض وجود قالبين من الحديـد، الأول: كتلته 1 kg، والثاني: كتلته 2 kg. فإذا كان للقالبين درجة الحرارة نفسـها فإن متوسـط الطاقة الحركية للجزيئات في أيّ منهما هي نفسـها، على الرغم من أن القالب الثاني له ضعف كتلة القالب الأول. وبما أن القالب الثاني يحتوي ضعف عدد الجزيئات الموجودة في القالب الأول، فإن كميـة الطاقة الحركية الكلية لجزيئات القالب الثاني تسـاوي ضعف كمية الطاقة الحركية الكلية لجزيئات القالب الأول. وتقسم الطاقة الحركية الكلية على عدد الجزيئات الموجودة في الجسـم لحساب متوسط الطاقة الحركية؛ لذا تتناسب الطاقة الحرارية في الجسم مع عدد الجزيئات فيه، في حين أن درجة الحرارة لا تعتمد على عدد الجزيئات في الجسم.

الاتزان والقياس الحراري
Equilibrium and Thermometry

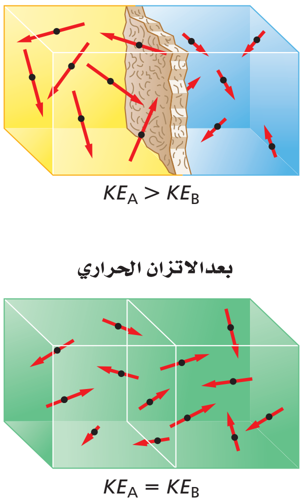
كيف تقيس درجة حرارة جسـمك؟ إذا اشتبهت مثلاً في أنك مصاب بالحمى، فقد تضع مقياس حـرارة في فمك وتنتظر دقيقتـين إلى ثلاث دقائق قبل أن تنظـر إلى قراءة درجة الحرارة على المقياس. إن النظرة المجهرية لعملية قياس درجة الحرارة تتضمن التصادمات وانتقالات الطاقة بين مقياس الحرارة وجسمك. وإن كان جسمك ساخنًا مقارنة بمقياس الحرارة فذلك يعني أن الجزيئات في جسـمك لها طاقة حرارية أكبر، وتتحرك بسرعة أكبر من الجزيئات التـي في المقياس. وعندما يلامس أنبوب المقيـاس الزجاجي البارد جلدك الأدفـأ من الزجاج، فإن الجزيئات المتحركة بسرعة في جلدك تصطدم بالجزيئات المتحركة ببطء في الأنبوب الزجاجي، فتنتقل الطاقة عندئذ من جلدك إلى الزجاج عن طريق عملية **التوصيل الحـراري**، والتي تعني انتقال الطاقة الحركية عندمـا تتصادم الجزيئات. أيْ أن الطاقة الحرارية للجزيئات المكوّنة لمقياس الحرارة تزداد، وفي الوقت نفسه تتناقص الطاقة الحرارية للجزيئات في الجلد.

الاتزان الحراري في أثناء اكتسـاب جزيئات الزجاج المزيد من الطاقة فإنها تبدأ في إرجاع بعـض هذه الطاقة إلى جزيئات جسـمك. ويصبح معدل انتقال الطاقـة من الزجاج إلى الجسم مسـاويًا لمعدل انتقال الطاقة من الجسم إلى الزجاج عند اللحظة التي تتساوى فيها درجتا حرارة الجسـم ومقياس الحرارة. ويقال عندئذٍ: إن الجسم ومقياس الحرارة وصلا

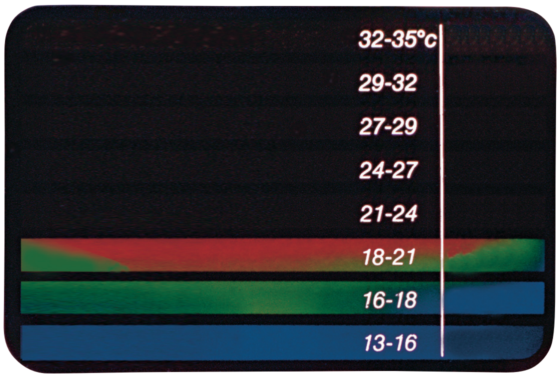
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

إلى **الاتـــزان الحراري**، أي أن حالة الاتزان الحراري هي الحالـــة التي يصبح عندها معدلا تدفق الطاقة بين جســـمين متساوي، ويكون لكلا الجسمين درجة الحرارة نفسها، كما يبين **الشكل 3–6**.

يعتمد عمل مقياس الحـــرارة على خاصية معينة، مثل الحجم، والـــذي يتغير بتغير درجة الحرارة. ويحتوي العديد من مقاييس الحرارة المنزلية على كحول ملون يتمدّد عندما يسخن ويرتفع داخل أنبـــوب ضيق، وكلما زادت درجة حرارة الكحـــول تمدد حجمه أكثر فزاد ارتفاعه في الأنبوب، مشيرًا إلى درجة حرارة أعلى. وفي مقاييس الحرارة السائلة – البلورية، كما في **الشكل 4–6**، تستخدم مجموعة من السوائل البلورية المختلفة، بحيث تترتب بلورات الجزيئات لكل نوع عند درجة حرارة محددة، مما يؤدي إلى تغير لون البلورة. ومن ثم تشير إلى درجة الحرارة من خلال اللون. أمّا المقاييس الحرارية الطبية والمقاييس المستخدمة في محركات المركبات فإنها تستخدم دوائر إلكترونية حساسة للحرارة فتقيس درجات الحرارة بسرعة.



■ **الشكل 3–6** تنتقل الطاقة الحرارية من الجسم الساخن إلى الجسم البارد. وعند حدوث الاتزان الحراري يكون انتقال الطاقة بين الجسمين متساويًا.



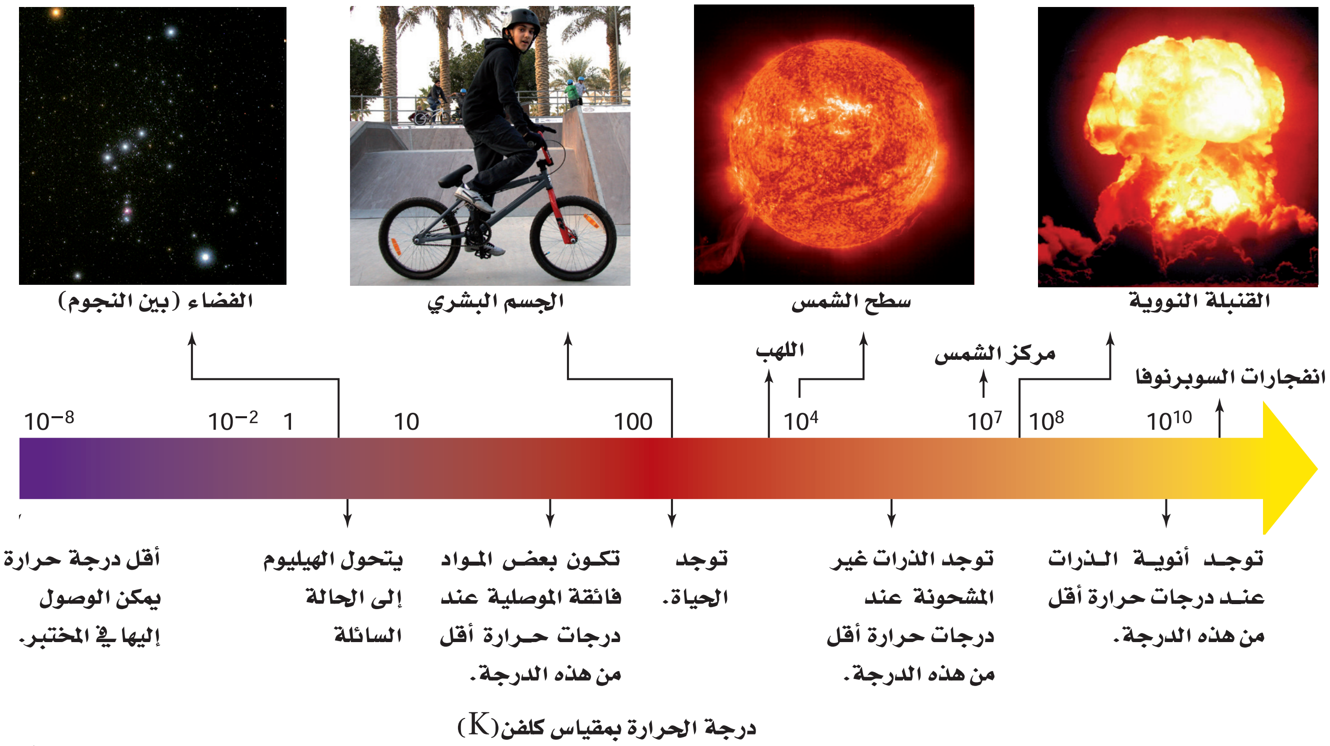
■ **الشكل 4–6** تستخدم مقاييس الحرارة التغير في الخصائص الفيزيائية لقياس درجة الحرارة، وفي مقياس الحرارة السائل – البلوري يتغير اللون بتغير درجة الحرارة.

مقياسا درجة الحرارة: السلسيوس والكلفن
Temperature Scales: Celsius and Kelvin

طور العلماء على مر الســـنين مقاييس لدرجة الحرارة حتى يتمكنوا من مقارنة قياســـاتهم بقياســـات العلماء الآخرين. فلقد ابتكر عالم الفلك والفيزياء السويدي أندريه سلسيوس عام 1741 م مقياسًـــا يعتمـــد على خصائص الماء. ففي هذا المقياس – الذي يســـمى الآن مقياس سلسيوس – تُعرّف نقطة تجمد الماء النقي لتكون 0 °C، ونقطة غليان الماء النقي عند مستوى سطح البحر لتكون 100 °C.

حدود درجة الحرارة يوضّح **الشـــكل 5–6** المدى الواســـع لدرجات الحرارة الموجود في الكون. ولا يبـــدو أن هناك حدًّا أعلى لدرجات الحرارة؛ فدرجة الحرارة داخل الشـــمس 1.5×10^{7} °C عـــلى الأقل. من جهة أخرى هناك حدّ أدنـــى لدرجات الحرارة؛ تتقلص الموادّ، عمومًا، عند تبريدها، فمثلاً إذا تم تبريد غاز مثالي مثل الهيليوم في بالون فإنّه يتقلص،

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

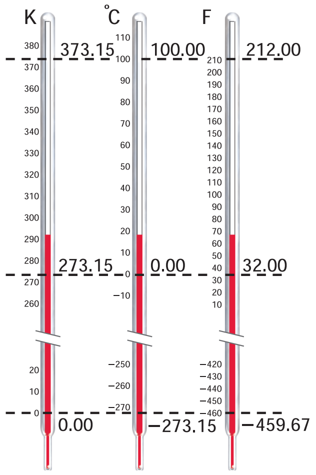


■ **الشكل 5–6** يوجد مدى واسع جدًا من درجات الحرارة في الكون. لاحظ أن مدى القياس تم توسيعه في المناطق ذات الأهمية الخاصة.

فإذا بلغت درجة حرارته $-273.15\ ^\circ C$ يصبح حجمه مساويًا لحجم ذرات الهيليوم فقط، وتتلاشى الفراغات بين الذرات، وتفقد ذرات الغاز طاقتها الحرارية كاملة، ويصبح من المستحيل تخفيض درجة الحرارة إلى أقل من ذلك؛ لذا لا يكون هنالك درجة حرارة أقل من $-273.15\ ^\circ C$ والتي تعرف بالصفر المطلق.

إن مقياس سلسيوس مفيد في القياسات اليومية لدرجة الحرارة، غير أن استخدامه في المسائل العلمية والهندسية غير عملي؛ لأنه يحتوي على درجات سالبة؛ إذ أن درجات الحرارة السالبة قد توحي بأن للجزيء طاقة حركية سالبة، وهذا غير ممكن؛ لأن الطاقة الحركية دائمًا موجبة. والحل لهذه القضية يكون باستخدام تدريج قياس يبدأ من الصفر المطلق. ويسمى هذا المقياس الكلفن.

إن نقطة الصفر في مقياس كلفن تعرف بأنها الصفر المطلق. ووفقًا لمقياس كلفن فإن نقطة تجمد الماء ($0\ ^\circ C$) هي $273\ K$ تقريبًا، ونقطة غليان الماء هي $373\ K$ تقريبًا. وتسمى الدرجة الواحدة على هذا المقياس كلفن، وتساوي $1\ ^\circ C$، لذا يكون $T_C + 273 = T_K$. ويوضح **الشكل 6–6** تمثيلاً لدرجات الحرارة في المقاييس الثلاثة الشائعة الاستخدام: الفهرنهايت، والسلسيوس، والكلفن.



■ **الشكل 6–6** مقاييس درجة الحرارة الثلاثة الشائعة وهي الكلفن، والسلسيوس، والفهرنهايت.

يتم الوصول إلى درجات الحرارة المنخفضة جدًا من خلال جعل الغازات سائلة، فمثلاً يصبح الهيليوم سائلاً عند درجة $4.2\ K$، أو $-269\ ^\circ C$. ويمكن أيضًا الوصول إلى درجات حرارة منخفضة باستخدام خصائص معينة للمواد الصلبة، ونظائر الهيليوم، والذرات والليزر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسائل تدريبية

1. حوّل درجات الحرارة الآتية من مقياس كلفن إلى مقياس سلسيوس.

a. 115 K	c. 125 K	e. 425 K
b. 172 K	d. 402 K	f. 212 K

2. احسب درجات الحرارة بالكلفن والسلسيوس لكل ممّا يأتي:

a. درجة حرارة الغرفة
b. ثلاجة نموذجية
c. يوم صيفي حار في مدينة الرياض
d. إحدى ليالي الشتاء في مدينة تبوك

الحرارة وتدفق الطاقة الحرارية
Heat and the Flow of Thermal Energy

عندما يتلامس جسمان يتناقلان طاقة. وهذه الطاقة التي تنتقل بين الجسمين تسمى **الحرارة**. وتوصف الحرارة بأنها الطاقة التي تتدفق دائمًا من الجسم الأسخن إلى الجسم الأبرد، ولا تنتقل الحرارة تلقائيًّا من الجسم الأبرد إلى الجسم الأسخن أبدًا. ويستخدم الرمز Q لتمثيل كمية الحرارة، والذي له نفس وحدة أشكال الطاقة الأخرى، وهي الجول، وإذا كانت Q سالبة القيمة فذلك يعني أن الحرارة تنبعث من الجسم، أما إذا كانت Q موجبة القيمة فذلك يعني أن الجسم امتص الحرارة.

التوصيل الحراري إذا وضعت نهاية قضيب معدني في لهب فإن جزيئات الغاز الحارة في اللهب ستوصل الحرارة إلى القضيب. ويصبح الطرف الآخر للقضيب دافئًا أيضًا خلال فترة زمنية قصيرة. لقد تم إيصال الحرارة؛ لأن الجزيئات في القضيب كانت تتلامس معًا مباشرة.

الحمل الحراري يحدث انتقال للطاقة الحرارية حتى لو لم تكن الجزيئات في الجسم يلامس بعضها بعضًا مباشرة. فهل شاهدت مرة دورق ماء عند لحظة الغليان؟

يسخن الماء الموجود في القاع بفعل التوصيل ويصعد إلى أعلى، في حين ينزل الماء الأبرد من أعلى نحو قاع الدورق. وتتدفق الحرارة بين الماء الساخن الصاعد والماء البارد النازل. وتُسمى حركة المائع في المادة السائلة أو الغازية التي تحدث بسبب اختلاف درجة الحرارة **الحمل الحراري**. ويحدث الاضطراب الجوي بسبب الحمل الحراري للغازات الموجودة في الغلاف الجوي. وتعتبر العواصف الرعدية مثالاً على هذه الظاهرة. وتنتج التغيرات في أنماط الطقس أيضًا بسبب ظاهرة الحمل الحراري للتيارات المائية في المحيطات.

تطبيق الفيزياء

التدفئة بالبخار

في نظام التدفئة بالبخار لمبنى ما، يُحوَّل الماء إلى بخار في مرجل موجود في منطقة الصيانة أو أسفل البناء. ثم يتدفق البخار داخل أنابيب معزولة ليصل إلى كل غرفة في المبنى. ويتكثف البخار داخل مشعاع حراري على شكل ماء، ثم يتدفق عائدًا عبر الأنابيب إلى المرجل ليعاد تبخيره. يحمل البخار الساخن الحرارة من داخل المرجل، ثم تتحرر تلك الطاقة عندما يتكثف البخار داخل مشعاع الحرارة. ومن سلبيات نظام التدفئة بالبخار أنه يتطلب مراجل وأنابيب ذات تكلفة مرتفعة لتستطيع نقل البخار المضغوط.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الربط مع الأرصاد الجوية

الإشعاع الحراري هو الطريقة الثالثة للانتقال الحراري. وهو لا يشبه الطريقتين السابقتين؛ إذ لا يعتمد على وجود مادة. تعمل الشمس على تسخين الأرض من بُعد 150 مليون كيلومتر عن طريق **الإشعاع الحراري**، والذي يمثل انتقال الطاقة عن طريق الموجات الكهرومغناطيسية. حيث تعمل الموجات على نقل الطاقة من الشمس الحارة خلال الفراغ الفضائي إلى الأرض الأكثر برودة.

الحرارة النوعية Specific Heat

تختلف الأجسام في اكتسابها للحرارة، فبعضها يكتسب الحرارة أسهل من غيرها. ففي يوم صيفي مشمس تعمل الشمس على تسخين ماء البحر و الرمل عند الشاطئ. وعلى الرغم من تعرضهما للطاقة الحرارية من المصدر نفسه (الشمس) وخلال الفترة الزمنية نفسها، إلا أن الرمل يصبح أكثر سخونة من ماء البحر. وعندما تنتقل الحرارة إلى داخل جسم ما؛ فإن كلًّا من طاقته الحرارية ودرجة حرارته تزداد. ويعتمد مقدار الزيادة في درجة الحرارة على كتلة الجسم، ونوع مادته.

الجدول 1–6

الحرارة النوعية للموادّ الشائعة

المادة	الحرارة النوعية (J/ kg. K)	المادة	الحرارة النوعية (J/ kg. K)
الألومنيوم	897	الرصاص	130
النحاس الأصفر	376	الميثانول	2450
الكربون	710	الفضة	235
النحاس	385	بخار الماء	2020
الزجاج	840	الماء	4180
الجليد	2060	الخارصين	388
الحديد	450		

إن **الحرارة النوعية** للمادة هي كمية الطاقة التي يجب أن تكتسبها المادة لترتفع درجة حرارة وحدة الكتل من هذه المادة درجة سلسيوس واحدة. ويرمز للحرارة النوعية بالرمز C وتقاس بوحدات J /kg.K في نظام الوحدات العالمي، ويبين **الجدول 1–6** قيم الحرارة النوعية لبعض المواد المعروفة، فعلى سبيل المثال، يجب نقل طاقة مقدارها 897 J إلى كتلة مقدارها 1 kg من الألومنيوم لرفع درجة حرارتها 1 K؛ لذا تكون الحرارة النوعية للألمنيوم 897 J /kg.K.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

إن مقدار الحرارة التي يكتسبها جسم ما أو يفقدها عند تغير درجة حرارته يعتمد على كتلته، وعلى التغير في درجة حرارته، وعلى الحرارة النوعية لمادة الجسم. وتستطيع باستخدام المعادلة الآتية حساب كمية الحرارة Q، اللازم نقلها لتغيير درجة حرارة الجسم.

كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة $Q = mC\Delta T = mC\,(T_f - T_i)$

كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة تساوي كتلة الجسم مضروبة في حرارته النوعية وفي الفرق بين درجتي حرارته النهائية والابتدائية.

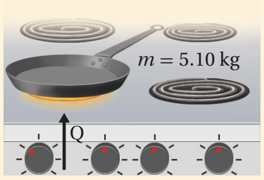
للماء السائل حرارة نوعية مرتفعة مقارنة بالمواد الأخرى في الجدول **1–6**. ولذا فعندما ترتفع درجة حرارة 10.0 kg من الماء بمقدار 5.0 K فإن الطاقة الممتصة هي:

$$Q = (10.0\ \text{kg})\,(4180\ \text{J/kg.K})\,(5.0\ \text{K}) = 2.1 \times 10^5\ \text{J}$$

تذكّر أن التدريج الواحد في مقياس كلفن يعادل تدريجًا واحدًا بمقياس سلسيوس، ولهذا السبب تستطيع حساب ΔT بوحدة الكلفن أو السلسيوس.

مثال 1

انتقال الحرارة إذا تم تسخين مقلاة من الحديد الصلب كتلتها 5.10 kg على موقد؛ فارتفعت درجة حرارتها من 295 K إلى 450 K، فما مقدار كمية الحرارة التي يكتسبها الحديد؟



$T_i = 295$ K
$T_f = 450$ K

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم تدفق الحرارة نحو المقلاة من قمة الموقد.

المعلوم		المجهول
$m = 5.10$ kg	$C = 450$ J/kg.K	$Q = ?$
$T_i = 295$ K	$T_f = 450$ K	

دليل الرياضيات
ترتيب العمليات 213

2 إيجاد الكمية المجهولة

عوّض مستخدمًا $m = 5.10\text{kg}$، $C = 450\text{J/kg.K}$، $T_f = 450\text{K}$، $T_i = 295\text{K}$

$$\begin{aligned} Q &= m\,C\,(T_f - T_i) \\ &= (5.10\ \text{kg})(450\ \text{J/kg.K})(450\ \text{K} - 295\ \text{K}) \\ &= 3.6 \times 10^5\ \text{J} \end{aligned}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس كمية الحرارة بوحدة J.
- **هل الإشارات مهمة هنا؟** زادت درجة الحرارة؛ لذا تكون Q موجبة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

◀ **مسائل تدريبية**

3. عندما تفتح صنبور الماء الساخن لغسل الأواني فإن أنابيب المياه تسخن. فما مقدار كمية الحرارة التي يمتصها أنبوب ماء نحاسي كتلته 2.3 kg عندما ترتفع درجة حرارته من 20.0 °C إلى 80.0 °C؟

4. يحتوي نظام التبريد لسيارة على 20.0 L من الماء. علمًا بأن كتلة لتر واحد من الماء تساوي 1kg.

a. إذا اشتغل المحرك حتى حصل على 836.0 kJ من الحرارة، فما مقدار التغير في درجة حرارة الماء؟

b. إذا كان الفصل شتاءً، ونظام التبريد في السيارة مملوءًا بالميثانول ذي الكثافة $0.80\ g/cm^3$ فما مقدار الزيادة في درجة حرارة الميثانول إذا امتص 836.0 kJ من الحرارة؟

c. أيهما يُعد مبرِّدًا أفضل، الماء أم الميثانول؟ فسِّر إجابتك.

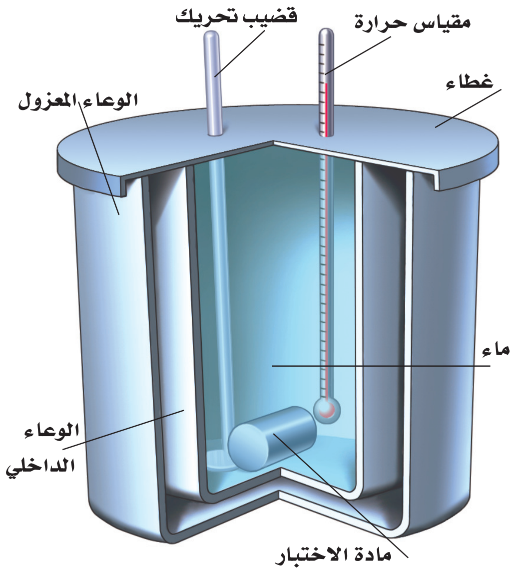
5. تبيع شركات الكهرباء الطاقة الكهربائية بوحدة kWh، حيث إن $1\ kWh = 3.6 \times 10^6\ J$. افترض أن ثمن كل 1 kWh يساوي 0.15 ريال. فما تكلفة تسخين 75 kg من الماء من درجة حرارة 15 °C إلى 43 °C؟

المسعر: Calorimeter

قياس الحرارة النوعية Measuring Specific Heat

إن المسعر البسيط كما في **الشكل 7–6**، أداة تستخدم لقياس التغير في الطاقة الحرارية. ويكون المسعر معزولاً تمامًا، بحيث يكون انتقال الطاقة إلى المحيط الخارجي أقل ما يمكن.

وتوضع كتلة مقيسة من مادة مسخنة عند درجة حرارة عالية داخل المسعر الذي يحتوي أيضًا على كتلة معروفة من الماء البارد وتكون درجة حرارة الماء معروفة أيضًا. فتنتقل الحرارة المفقودة من المادة إلى الماء البارد، ثم يحسب التغير في الطاقة الحرارية للمادة من خلال الزيادة الحاصلة في درجة حرارة الماء. وهناك أنواع أخرى من المسعرات تستعمل لقياس التفاعلات الكيميائية ومحتوى الأطعمة من الطاقة.



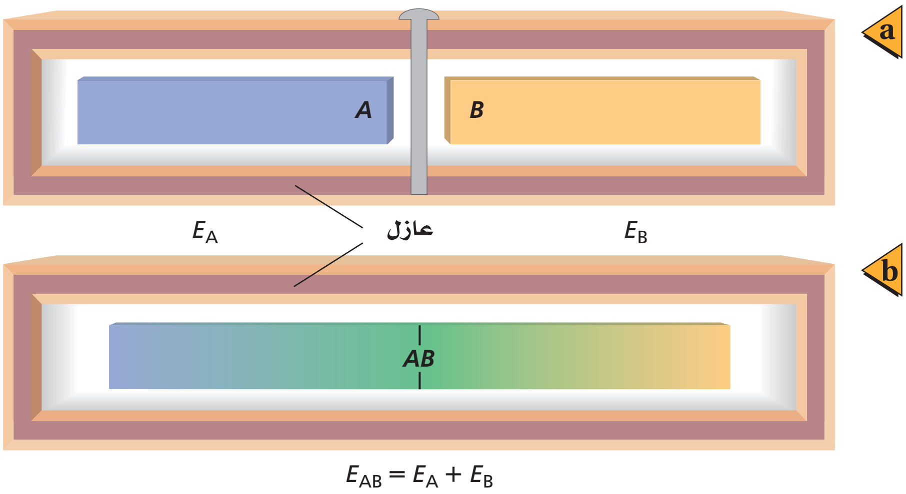
■ **الشكل 7–6** يمثل المسعر النظام المغلق والمعزول، ويستخدم لقياس انتقال الطاقة الحرارية.

يعتمد عمل المسعر على مبدأ حفظ الطاقة في النظام المغلق والمعزول، بحيث لا تدخل الطاقة هذا النظام أو تغادره. ونتيجة لذلك، إذا ازدادت طاقة جزء معين من النظام فإن طاقة جزء آخر يجب أن تنقص بالمقدار نفسه. افترض أن النظام مكون من قالبين من المعدن A و B، كما في **الشكل 8a–6**. فتكون الطاقة الكلية للنظام ثابتة، كما في المعادلة الآتية:

حفظ الطاقة $E_A + E_B =$ ثابت

الطاقة الحرارية في النظام المغلق والمعزول للجسم A مضافًا إليها الطاقة الحرارية للجسم B تساوي مقدارًا ثابتًا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 8–6** نظام مكون من نموذجين لقالبين عند درجات حرارة مختلفة، وهما مفصولان في الحالة الابتدائية (a). وعندما يتلامس القالبان فإن الحرارة تتدفق من القالب الساخن إلى القالب الأبرد(b). وتبقى الطاقة الكلية ثابتة.

افترض في البداية أن القالبين منفصلان، ومن الممكن جعلهما يتلامسان. فإذا تغيرت الطاقة الحرارية للقالب A بمقدار ΔE_A فإنّ التغير في الطاقة الحرارية للقالب B يساوي ΔE_B، كما يُمكن وصف التغير من خلال المعادلة، $\Delta E_A + \Delta E_B = 0$؛ لذا يكون $\Delta E_A = -\Delta E_B$، أي أن تغير الطاقة لأحد القالبين موجب، في حين يكون تغير الطاقة للقالب الآخر سالبًا. ويكون هنالك ازدياد في درجة حرارة القالب ذي التغير الموجب في طاقته الحرارية، ونقصان في درجة حرارة القالب ذي التغير السالب في طاقته الحرارية.

افترض أن درجتي الحرارة الابتدائية للقالبين مختلفتان. عندما يتلامس القالبان، تتدفق الحرارة من القالب الأسخن إلى القالب الأبرد، كما في **الشكل 6–8b**. ويستمر تدفق الحرارة حتى يصبح القالبان في حالة اتزان حراري، وذلك عندما يكون للقالبين درجة الحرارة نفسها.

يكون التغير في الطاقة الحرارية لأحد مكونات النظام المغلق والمعزول مساويًا لكمية الحرارة المنقولة، وذلك ناجم عن عدم بذل أي شغل؛ لذا يعبر عن تغير الطاقة لكل قالب بالمعادلة الآتية:

$$\Delta E = Q = mC\Delta T$$

ولأن الزيادة في الطاقة الحرارية للقالب A تساوي النقصان في الطاقة الحرارية للقالب B فإن العلاقة الآتية صحيحة:

$$m_A C_A \Delta T_A + m_B C_B \Delta T_B = 0$$

إن التغير في درجة الحرارة هو الفرق بين درجتي الحرارة الابتدائية والنهائية؛ أيْ أن

$$\Delta T = T_f - T_i$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

فإذا زادت درجة حرارة القالب فإن $T_i > T_f$، وتكون ΔT موجبة. وإذا نقصت درجة حرارة القالب فإن $T_i < T_f$ ، وتكون ΔT سالبة، ودرجتا الحرارة النهائية للقالبين متساويتين. وتمثل المعادلة الآتية انتقال الطاقة.

$$m_A C_A (T_f - T_A) + m_B C_B (T_f - T_B) = 0$$

حل المعادلة بالنسبة لِـ T_f وذلك بفك الأقواس:

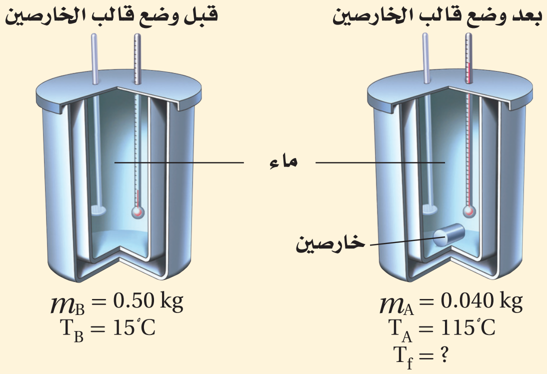
$$m_A C_A T_f - m_A C_A T_A + m_B C_B T_f - m_B C_B T_B = 0$$

$$T_f (m_A C_A + m_B C_B) = m_A C_A T_A + m_B C_B T_B$$

$$T_f = \frac{m_A C_A T_A + m_B C_B T_B}{m_A C_A + m_B C_B}$$

مثال 2

انتقال الحرارة في المسعر يحتوي مسعر على ماء كتلته 0.50 kg عند درجة حرارة 15 °C، فإذا وضع قالب من الخارصين كتلته 0.040 kg ودرجة حرارته 115 °C في الماء. فما درجة الحرارة النهائية للنظام؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- سمِّ عينة الخارصين A، وعينة الماء B.
- ارسم انتقال الحرارة من الخارصين الساخن إلى الماء البارد

المجهول	المعلوم
$T_f = ?$	$m_A = 0.040$ kg
	$C_A = 388$ J/kg.°C
	$T_A = 115$ °C
	$m_B = 0.50$ kg
	$C_B = 4180$ J/kg.°C
	$T_B = 15.0$ °C

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية 204—205

2 إيجاد الكمية المجهولة

حدّد درجة الحرارة النهائية باستخدام المعادلة الآتية:

$$T_f = \frac{m_A C_A T_A + m_B C_B T_B}{m_A C_A + m_B C_B}$$

عوّض مستخدمًا $m_A = 0.040$ kg
$C_A = 388$ J/kg.°C، $T_A = 115$°C
$C_B = 4180$ J/kg.°C
$m_B = 0.50$ kg، $T_B = 15.0$ °C

$$= \frac{(0.040\text{ kg})(388\text{ J/kg.°C})(115\text{ °C}) + (0.50\text{ kg})(4180\text{ J/kg.°C})(15.0\text{ °C})}{(0.040\text{ kg})(388\text{ J/kg.°C}) + (0.50\text{ kg})(4180\text{ J/kg.°C})}$$

$$= 16\text{ °C}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** قيست درجة الحرارة بوحدة سلسيوس.
- **هل الجواب منطقي؟** تقع الإجابة بين درجتي الحرارة الابتدائية للعينتين، كما هو متوقع عند استخدام المسعر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسائل تدريبية

6. خلطت عينة ماء كتلتها 2.00×10^{2} g ودرجة حرارتها $80.0\ ^\circ C$ مع عينة ماء أخرى كتلتها 2.00×10^{2} g ودرجة حرارتها $10.0^\circ C$. مفترضًا عدم فقدان حرارة إلى المحيط الخارجي، ما درجة الحرارة النهائية للخليط؟

7. خلطت عينة ميثانول كتلتها 4.00×10^{2} g ودرجة حرارتها $16.0\ ^\circ C$ مع عينة ماء كتلتها 4.00×10^{2} g ودرجة حرارتها $85.0\ ^\circ C$. مفترضًا عدم فقدان حرارة إلى المحيط الخارجي، ما درجة الحرارة النهائية للخليط؟

8. وضعت ثلاثة أوزان فلزية لصيد السمك في ماء كتلته 1.00×10^{2} g ودرجة حرارته $35.0\ ^\circ C$. فإذا كانت كتلة كل قطعة فلزية 1.00×10^{2} g ودرجة حرارتها $100.0\ ^\circ C$، وكانت درجة حرارة الخليط النهائية $45.0\ ^\circ C$، فما الحرارة النوعية للفلز في الأوزان؟

9. وضع قالب فلزي في ماء كتلته 1.00×10^{2} g ودرجة حرارته $10.0\ ^\circ C$، فإذا كانت كتلة القالب 1.00×10^{2} g ودرجة حرارته $100.0\ ^\circ C$، وكانت درجة الحرارة النهائية للخليط $25.0\ ^\circ C$. فما الحرارة النوعية لمادة القالب؟

■ **الشكل 9–6** تنظم السحلية درجة حرارة جسمها من خلال الاختباء أسفل صخرة، عندما يكون الجو حارًا (**a**). والتعرض لأشعة الشمس عندما يكون الجو باردًا (**b**).

الربط مع الأحياء

تقسم الحيوانات إلى مجموعتين اعتمادًا على درجات حرارة أجسامها. معظمها من متغيِّرة درجة الحرارة، وهي التي تتغير درجات حرارة أجسامها تبعًا للبيئة المحيطة. وبقية الحيوانات الثابتة درجة الحرارة، وهي التي تتحكم في درجات حرارة أجسامها داخليًّا. أيْ أن الحيوانات الثابتة درجة الحرارة تبقى درجات حرارة أجسامها مستقرة بغض النظر عن درجة حرارة المحيط. أما الحيوانات المتغيِّرة درجة الحرارة فترتفع درجة حرارة أجسامها عندما تكون درجة حرارة المحيط مرتفعة. وتنظم الحيوانات المتغيِّرة درجة الحرارة – ومنها السحلية في **الشكل 9–6** –حرارة جسمها من خلال تنظيم تدفق الحرارة عن طريق الاختباء تحت صخرة أو في شق، مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة جسمها. ويتصف البشر بثبات درجة حرارة أجسامهم؛ فدرجة حرارة جسم الإنسان تقريبًا $37\ ^\circ C$.

ولينظم الحيوان الثابت درجة الحرارة درجة حرارة جسمه، فإنه يزيد أو يقلل من مستوى عمليات الأيض؛ لذا قد تلجأ بعض هذه الحيوانات إلى البيات الشتوي لتخفيض درجة حرارة أجسامها لتصل إلى درجة حرارة تجمد الماء.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

6–1 مراجعة

10. درجات الحرارة حوّل درجات الحرارة الآتية لأنظمة القياس المشار إليها:

a. 5 °C إلى كلفن.
b. 34 K إلى سلسيوس.
c. 212 °C إلى كلفن.
d. 316 K إلى سلسيوس.

11. التحويلات حوّل درجات الحرارة الآتية إلى كلفن.

a. 28 °C
b. 154 °C
c. 568 °C
d. −55 °C
e. −184 °C

12. الطاقة الحرارية هل يمكن أن تكون الطاقة الحرارية لكمية من الماء الساخن مساوية للطاقة الحرارية لكمية أخرى من الماء البارد؟ فسّر إجابتك.

13. انتقال الحرارة لماذا تبقى البطاطا المشـويّة ساخنة مدة أطول من أيّ طعام آخر في الطبق نفسه؟

14. الحرارة يكون بلاط أرضية الحمام في الشتاء باردًا عند لمسه بالقدم على الرغم أن باقي غرفة الحمام دافئة، فهل تكون الأرضية أبرد من سائر غرفة الحمام؟

15. الحرارة النوعية إذا تناولت ملعقة بلاستيكية من فنجان شاي حار ووضعتها في فمك، فلن تحرق لسانك، على الرغم من أنك قد تحرق لسانك بسهولة لو وضعت الشاي الحار في فمك مباشرة. فلماذا؟

16. الحرارة يستعمل كبار الطباخين في أغلب الأحيان مقالي طبخ مصنوعة من الألومنيوم السميك، فلماذا يعد الألومنيوم السميك أفضل من الرقيق للطبخ؟

17. الحرارة والطعام لماذا يتطلب شوي حبة البطاطس كاملة مدة أطول من قليها على شكل شرائح صغيرة؟

18. التفكير الناقد قد ينتج بعض الضباب فوق سطح الماء عندما يسخن، قبل بدء الغليان مباشرة. فما الذي يحدث؟ وأين يكون الجزء الأبرد من الماء في القدر؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

6–2 تغيرات حالة المادة وقوانين الديناميكا الحرارية
Changes of State & the Laws of Thermodynamics

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

الأهداف
- **تُعرف** الحرارة الكامنة للانصهار.
- **تُعرف** الحرارة الكامنة للتبخر.
- **تُعرف** القانونين الأول والثاني في الديناميكا الحرارية.
- **تميِّز** بين الحرارة والشغل.
- **تعرِّف** الإنتروبي.

المفردات
الحرارة الكامنة للانصهار
الحرارة الكامنة للتبخر
القانون الأول في الديناميكا الحرارية
المحرك الحراري
الإنتروبي
القانون الثاني في الديناميكا الحرارية

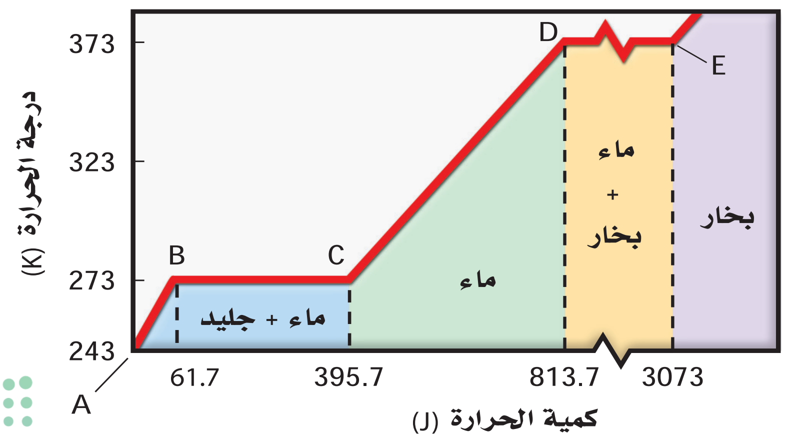
استخدم صانعو المحرك البخاري في القرن الثامن عشر الحرارة لتحويل الماء الساخن إلى بخار، حيث يدفع البخار المكبس، لتشغيل المحرك، ثم يبرد البخار، ويتكثف فيصبح سائلاً مرة أخرى. إن إمداد الماء السائل بكمية من الطاقة الحرارية لا يُغير درجة حرارته فقط، بل يُغيّر بُنيته التركيبية أيضًا –ولكن دون تغيير البُنية الجُزيئية–. وستتعلم أن تغير حالة المادة يعني تغير الشكل، والطريقة التي تخزّن بها الذراتُ الطاقةَ الحرارية.

تغير حالة المادة Changes of State

إن الحالات الثلاث الأكثر شيوعًا للمادة هي: الصلبة، والسائلة، والغازية. حيث تتغير حالة المادة الصلبة إلى السائلة عند رفع درجة حرارتها، وتصبح غازًا عند درجات حرارة أعلى. فكيف يمكن تفسير هذه التغيرات؟ افترض أنّ مادة ما في الحالة الصلبة اكتسبت كمية من الطاقة الحرارية؛ فما التغير الذي سيطرأ عليها؟ تزداد حركة جزيئاتها، كما تزداد درجة حرارتها.

يبين **الشكل 10–6** تمثيلًا بيانيًّا لتغيرات حالة المادة عند تزويد 1 g من الماء بطاقة حرارية بدءًا من درجة حرارة 243 K (جليد) حتى تصل درجة الحرارة إلى ما يزيد على 373 K (بخار). لقد سُخّن الجليد بين النقطتين A و B حتى أصبحت درجة حرارته 273 K، وعند نقطة معينة فإن الطاقة الحرارية المكتسبة تجعل جزيئات الماء تتحرك بسرعة كافية، للتغلب على القوى التي تعمل على تثبيت الجزيئات. وتبقى الجزيئات يلامس بعضها بعضًا، ولكنها تملك حرية حركة أكثر، وبازدياد الطاقة الحرارية المكتسبة تصبح الجزيئات أخيرًا حرة على نحوٍ كافٍ لتنزلق مبتعدًا بعضها عن بعض.

فاز ثلاثة علماء بريطانيين بجائزة نوبل في الفيزياء لعام 2016 تقديرا لأبحاثهم حول المادة التي أتاحت إحراز تقدم في الفهم النظري للأسرار الغامضة للمادة، وفتحت آفاقا جديدة في تطوير مواد مبتكرة.



■ **الشكل 10–6 تمثيل بياني للعلاقة بين درجة الحرارة وكمية h المكتسبة عندما يتحول 1g من الجليد إلى بخار. لاحظ أنّ المحور الأفقي منفصل بين النقطتين D و E، إشارة إلى تغير مقياس الرسم بين النقطتين.**

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

درجة الانصهار تتغير المادة عند هذه الدرجة من الحالة الصلبة، إلى الحالة السائلة، وتسمى درجة الحرارة التي يحدث عندها هذا التغير درجة انصهار المادة. في أثناء انصهار المادة، تعمل الطاقة الحرارية المكتسبة كلها على التغلب على القوى التي تربط الجزيئات بعضها ببعض في الحالة الصلبة، ولكنها لا تؤدي إلى زيادة الطاقة الحركية للجزيئات. وهذا يمكن مشاهدته بين النقطتين B وC في **الشكل 10—6**، حيث تؤدي الطاقة الحرارية المكتسبة إلى انصهار الجليد عند درجة الحرارة الثابتة 273 K. ولأن الطاقة الحركية للجزيئات لا تزداد بين النقطتين B و C فإن درجة الحرارة لا تزداد بينهما أيضًا، بل تبقى ثابتة.

درجة الغليان عندما تنصهر المادة الصلبة تمامًا تتلاشى القوى التي تثبت الجزيئات في الحالة الصلبة، ويؤدي اكتساب المادة للمزيد من الطاقة الحرارية إلى زيادة طاقة حركة الجزيئات، وارتفاع درجة حرارة السائل. وتحدث هذه العملية على المخطط بين النقطتين C و D، ومع زيادة درجة الحرارة أكثر من ذلك، يكون لبعض الجزيئات في السائل طاقة كافية لتتحرر من الجزيئات الأخرى. وعند درجة حرارة محددة– تعرف بدرجة الغليان– تؤدي أيُّ زيادة في الطاقة الحرارية إلى تغير حالة المادة إلى حالة أخرى. وكل الطاقة الحرارية المكتسبة تغير حالة المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية.

تبقى درجة الحرارة ثابتة عندما يغلي السائل كما هو الحال تمامًا في حالة الانصهار. ويمثل هذا الانتقالَ بين النقطتين D و E في **الشكل 10—6**. وبعدما تتحول المادة كليًّا إلى غاز، فإنّ أيّ زيادة في الطاقة الحرارية مجددًا، تزيد من حركة الجزيئات، وترفع درجة الحرارة أعلى من النقطة E، فيسخن بخار الماء عند درجات حرارة أعلى من 373 K.

الحرارة الكامنة للانصهار H_f تسمى كمية الطاقة الحرارية اللازمة لانصهار 1 kg من مادة ما **بالحرارة الكامنة للانصهار** لهذه المادة. فعلى سبيل المثال، الحرارة الكامنة لانصهار الجليد هي 3.34×10^5 J /kg . فإذا اكتسب 1 kg من الجليد عند درجة حرارة الانصهار 273 K، ما مقداره 3.34×10^5 J من الطاقة الحرارية فسيتحول الجليد إلى 1 kg من الماء عند درجة الحرارة نفسها؛ حيث تسبب الطاقة الحرارية المكتسبة تغيرًا في الحالة وليس تغيرًا في درجة الحرارة. وتصرف هذه الطاقة في إبعاد الجزيئات بعضها عن بعض دون زيادة في سرعتها. ويمثل الخط الأفقي بين النقطتين B و C في **الشكل 10—6** الحرارة الكامنة للانصهار.

الحرارة الكامنة للتبخر H_v يغلي الماء عند درجة حرارة 373K عند الضغط الجوي العادي. وتسمى كمية الطاقة الحرارية اللازمة لتبخير 1kg من السائل **بالحرارة الكامنة للتبخر**. فالحرارة الكامنة لتبخر الماء مثلاً تساوي 2.26×10^6J /kg. ويمثل الخط بين النقطتين D و E في **الشكل 10—6** الحرارة الكامنة للتبخر. ولكل مادة حرارة كامنة للتبخر خاصة بها. ويوجد بين النقطتين A و B ميل واضح للخط مع ارتفاع درجة الحرارة.

تجربة

الانصهار

1. ضع إشارة A وإشارة B على كأسين مصنوعتين من مادة جيدة العزل (مثل كؤوس الاستعمال لمرة واحدة المصنعة من الفلين الصناعي).
2. اسكب في كل كأس 75 ml من الماء عند درجة حرارة الغرفة، وامسح أي ماء منسكب.
3. ضع مكعب جليد في الكأس A، وماءً عند درجة التجمد في الكأس B حتى يتساوى مستوى الماء في الكأسين.
4. قس درجة حرارة الماء في كل كأس، وكرّر القياس بعد كل دقيقة حتى ينصهر الثلج.
5. سجل درجات الحرارة في جدول البيانات، ومثلها بيانيًا.

التحليل والاستنتاج

6. هل تصل العينتان إلى درجة الحرارة النهائية نفسها؟ ولماذا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الجدول 2–6

الحرارة الكامنة للانصهار والتبخر لبعض المواد الشائعة		
المادة	**الحرارة الكامنة للانصهار** H_f (J/kg)	**الحرارة الكامنة للتبخر** H_V (J/kg)
النحاس	2.05×10^5	5.07×10^6
الزئبق	1.15×10^4	2.72×10^5
الذهب	6.30×10^4	1.64×10^6
الميثانول	1.09×10^5	8.78×10^5
الحديد	2.66×10^5	6.29×10^6
الفضة	1.04×10^5	2.36×10^6
الرصاص	2.04×10^4	8.64×10^5
الماء (الجليد)	3.34×10^5	2.26×10^6

ويمثل هذا الميل مقلوب الحرارة النوعية للجليد. في حين يمثل الميل بين النقطتين C و D مقلوب الحرارة النوعية للماء، كما يمثل الميل بعد النقطة E مقلوب الحرارة النوعية للبخار. لاحظ أن ميل الخط في حالة الماء أقل من ميله في حالتي الجليد والبخار. وهذا عائد إلى أن للماء حرارة نوعية أكبر مما للجليد والبخار. ويعبر عن كمية الحرارة Q اللازمة لصهر كتلة m من المادة الصلبة بالمعادلة الآتية:

كمية الحرارة اللازمة لصهر الكتلة الصلبة $Q = m H_f$

كمية الحرارة اللازمة لصهر كتلة ما تساوي مقدار تلك الكتلة، مضروبة في الحرارة الكامنة لانصهار مادتها.

كما يعبر عن كمية الحرارة Q اللازمة لتبخير كتلة m من السائل بالمعادلة الآتية:

كمية الحرارة اللازمة لتبخير السائل $Q = m H_V$

كمية الحرارة اللازمة لتبخير سائل ما تساوي كتلة السائل، مضروبة في الحرارة الكامنة لتبخير مادته.

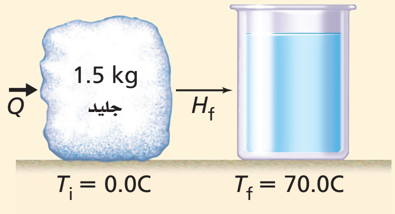
وعندما يتجمد السائل، فإنه يفقد كمية من حرارته تساوي $Q = -m H_f$ وهي الطاقة التي يفقدها ليتحول إلى الحالة الصلبة. وتشير الإشارة السالبة إلى أنّ الحرارة تنتقل من المادة إلى المحيط الخارجي. وبالطريقة نفسها، عندما يتكثف بخار إلى سائل، فإنّه يفقد كمية من الحرارة $Q = -m H_V$. ويبين **الجدول 2–6** بعض قيم الحرارة الكامنة للانصهار H_f، والحرارة الكامنة للتبخر H_V لبعض المواد.

تجربة عملية
ما مقدار الطاقة اللازمة لصهر الجليد؟
ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مثـــــال 3

الحرارة افترض أنّك تخيم في الجبال، وتحتاج إلى صهر 1.50 kg من الجليد عند درجة الحرارة 0.0 °C وتسخينه إلى درجة حرارة 70.0 °C لصنع شراب ساخن، فما مقدار كمية الحرارة التي يتطلبها ذلك؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم العلاقة بين الحرارة والماء في كلّ من حالتيه الصلبة والسائلة.
- ارسم انتقال الحرارة مع ازدياد درجة حرارة الماء.

المعلوم	المجهول
$m = 1.50\ kg$	$Q_{\text{صهر الجليد}} = ?$
$H_f = 3.34 \times 10^5\ J/kg$	$Q_{\text{تسخين الماء}} = ?$
$T_f = 70.0\ °C,\ T_i = 0.0\ °C$	$Q_{\text{الكلية}} = ?$
$C = 4180\ J/kg.°C$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب كمية الحرارة اللازمة لصهر الجليد.

عوّض مستخدمًا $m = 1.50\ kg$ ، $H_f = 3.34 \times 10^5\ J/kg$

$$Q_{\text{صهر الجليد}} = mH_f$$
$$= (1.50\ kg)(3.34 \times 10^5\ J/kg)$$
$$= 5.01 \times 10^5\ J$$
$$= 5.01 \times 10^2\ kJ$$

احسب تغير درجة الحرارة.

عوّض مستخدمًا $T_i = 0.0\ °C$ ، $T_f = 70.0\ °C$

$$\Delta T = T_f - T_i$$
$$= 70.0\ °C - 0.0\ °C$$
$$= 70.0\ °C$$

احسب كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء.

عوّض مستخدمًا $m = 1.50\ kg$، $\Delta T = 70.0\ °C$، $C = 4180\ J/kg.°C$

$$Q_{\text{تسخين الماء}} = mC\Delta T$$
$$= (1.50 kg)(4180 J/kg.°C)(70.0°C)$$
$$= 4.39 \times 10^5\ J = 4.39 \times 10^2\ kJ$$

احسب كمية الحرارة الكلية اللازمة.

عوّض مستخدمًا $Q_{\text{صهر الجليد}} = 4.39 \times 10^2\ kJ$ ، $Q_{\text{تسخين الماء}} = 5.01 \times 10^2\ kJ$

$$Q_{\text{الكلية}} = Q_{\text{صهر الجليد}} + Q_{\text{تسخين الماء}}$$
$$= 5.01 \times 10^2\ kJ + 4.39 \times 10^2\ kJ$$
$$= 9.40 \times 10^2\ kJ$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدات الطاقة هي الجول.
- **هل تدل الإشارة على شيء؟** Q موجبة عندما تكون الحرارة ممتصة.
- **هل الجواب منطقي؟** إنّ كمية الحرارة اللازمة لصهر الجليد أكبر من كمية الحرارة اللازمة لزيادة درجة حرارة الماء إلى 70.0 °C؛ إذ يتطلب التغلب على القوى التي تبقي الجزيئات في الحالة الصلبة طاقة أكبر من تلك التى نحتاج إليها لرفع درجة حرارة الماء.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسائل تدريبية

19. ما مقدار كميــة الحرارة اللازمة لتحويل كتلة من الجليد مقدارهــا 1.00×10^2 g ودرجة حرارتها $-20.0\ ^\circ C$ إلى ماءٍ درجة حرارته $0.0\ ^\circ C$؟

20. إذا ســخنت عينة ماء كتلتها 2.00×10^2 g ودرجة حرارتها $60.0\ ^\circ C$ فأصبحــت بخارًا درجة حرارته $140.0\ ^\circ C$، فما مقدار كمية الحرارة الممتصة؟

21. احســب كمية الحرارة اللازمة لتحويل 3.00×10^2 g من جليد درجة حرارته $-30.0\ ^\circ C$ إلى بخار ماء درجة حرارته $130.0\ ^\circ C$؟

القانون الأول في الديناميكا الحرارية
The First Law of Thermodynamics

لقد اعتبرت دراســة الحرارة ودرجة الحرارة علمًا مســتقلاًّ قبل فهــم الارتباط بين الطاقة الحرارية وحركة الذرات. وكان القانــون الأول بمثابة صيغة حول ماهية الطاقة الحرارية وكيفية انتقالها. وكما تعرف، فإنك تســتطيع تســخين مســمار بوضعه فوق لهب أو طرقه بمطرقة. أي أنك تســتطيع زيادة الطاقة الحرارية للمسمار إما بإضافة حرارة أو ببذل شغل عليه. ومن الجدير بالذكر أن المسمار يبذل شغلاً على المطرقة، لذا فإن الشغل المبذول بفعل المســمار على المطرقة يساوي سالب الشغل الذي تبذله المطرقة على المسمار. وينص **القانون الأول في الديناميكا الحرارية** على أن التغير في الطاقة الحرارية ΔU لجســم ما يساوي كمية الحرارة Q المضافة إلى الجســم مطروحًا منها الشــغل W الذي يبذله الجســم. لاحظ أنّ الكميات كلّها Q، ΔU، W مقيسة بوحدات الطاقة وهي الجول.

القانون الأول في الديناميكا الحرارية $\Delta U = Q - W$

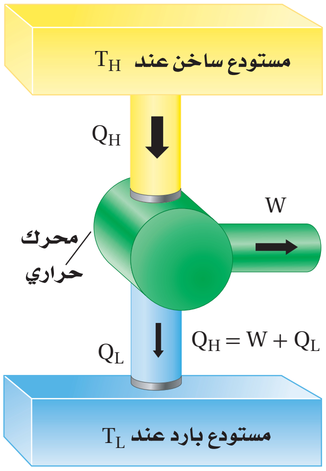
التغــير في الطاقة الحرارية لجســم ما يســاوي مقدار كمية الحرارة المضافة إلى الجســم مطروحًا منه الشغل الذي يبذله الجسم.

تتضمن الديناميكا الحرارية دراســة التغيرات في الخصائص الحراريــة للمادة أيضًا. ويُعد القانــون الأول في الديناميكا الحرارية عادة صياغة أخرى لقانــون حفظ الطاقة، والذي ينص على أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث، وإنما تتغير من شكل إلى آخر.

ومن الأمثلة الأخرى على تغير كمية الطاقة الحرارية في نظام ما، المضخة اليدوية المستخدمة في نفخ إطار الدراجة الهوائية؛ فعندما يقوم شــخص بضغط المضخة فإن الهواء وأسطوانة المضخة يصبحان دافئين؛ حيــث تتحول الطاقة الميكانيكيــة في المكبس المتحرك إلى طاقة حرارية للغاز. وبالمثل، فإن أشــكالًا أخرى من الطاقة يمكن أن تتحول إلى طاقة حرارية، ومنهــا الضوء والصوت والطاقة الكهربائية. فعلى ســبيل المثال، تحــول المحمصة الطاقة الكهربائية إلى حرارة عندما تحمص الخبز، وتدفئ الشــمس الأرض عن طريق الضوء من بُعد أكثر من 150 مليون كيلومتر.

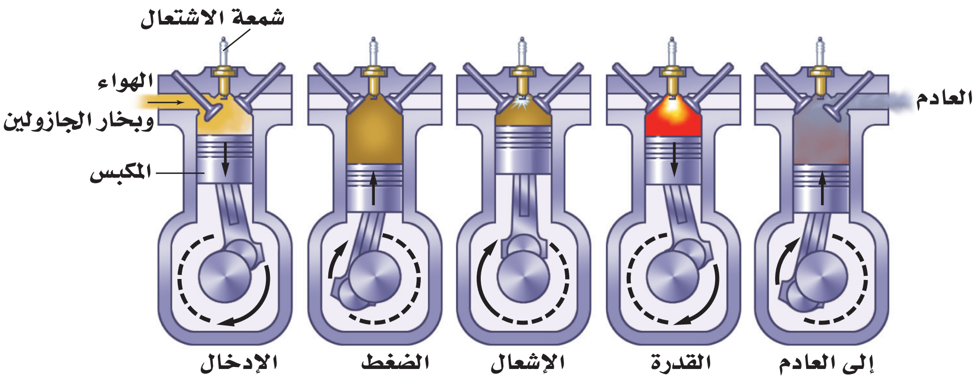
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المحركات الحرارية إنّ الدفء الذي تشعر به عندما تفرك يديك إحداهما بالأخرى هو نتيجة تحوّل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة حرارية، ويحدث التحول من الطاقة الميكانيكية إلى الطاقة الحرارية بسهولة ويسر. أما العملية العكسية، وهي تحول الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية، فتكون أكثر صعوبة. ويعد **المحرك الحراري** أداة ذات قدرة على تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية بصورة مستمرة.



الشكل 11–6 محرك حراري يحول الحرارة عند درجة الحرارة المرتفعة إلى طاقة ميكانيكية وإلى حرارة ضائعة عند درجة حرارة منخفضة.

يتطلب المحرك الحراري مصدرًا ذا درجة حرارة مرتفعة لامتصاص الحرارة منه؛ ومستقبِلاً ذا درجة حرارة منخفضة يمتص الحرارة ويسمى المصرف. كما يحتاج أيضًا إلى طريقة لتحويل الطاقة الحرارية إلى شغل. يوضح **الشكل 11–6** رسمًا تخطيطيًّا لمحرك حراري، وهو محرك احتراق داخلي، حيث يشتعل فيه بخار الجازولين المخلوط بالهواء لإنتاج شعلة ذات درجة حرارة مرتفعة. وتتدفق الحرارة (Q_H)، من اللهب إلى الهواء الموجود في الأسطوانة، ثم يتمدد الهواء ويدفع المكبس، محولاً بذلك الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية. وللحصول على طاقة ميكانيكية مستمرة، فإن المحرك يجب أن يعود إلى وضعه الابتدائي، حيث يطرد الهواء الحار ويحل محله هواء جديد، ويعود المكبس إلى أعلى الأسطوانة كما يبين **الشكل 12–6**.



الشكل 12–6 تعمل الحرارة الناتجة بفعل احتراق الجازولين على تمدد الغازات الناتجة وبذل قوة وشغل على المكبس.

وتتكرر هذه الدورة عدة مرات كل دقيقة. وتتحول الطاقة الحرارية من احتراق الجازولين إلى طاقة ميكانيكية، ولذا تتحرك السيارة.

لا تتحول جميع الطاقة الحرارية الناتجة عن الاشتعال في محرك السيارة إلى طاقة ميكانيكية، فعندما يشتغل المحرك تصبح الغازات الناتجة في العادم وأجزاء المحرك ساخنة، وينقل العادم الحرارة إلى الهواء الخارجي الملامس له، فترتفع درجة حرارة الهواء الخارجي، كما تنتقل الحرارة من المحرك إلى المبرد، فيمر الهواء الخارجي خلال المبرد، مما يرفع درجة حرارته أيضا.

وتسمى الطاقة المنتقلة إلى خارج محرك المركبة بالحرارة الضائعة (Q_L)، وهي الحرارة غير المتحولة إلى شغل. فعندما يعمل المحرك بصورة دائمة فإن الطاقة الداخلية

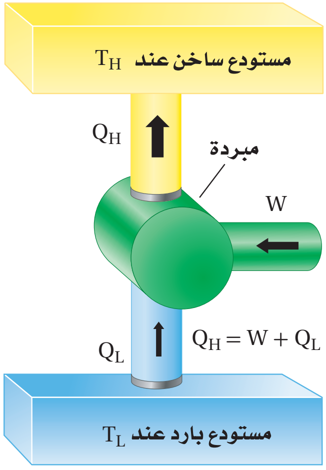
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

للمحـــرك لا تتغير، أو $\Delta U = 0 = Q - W$. ومحصلـــة كمية الحرارة التي تدخل المحرك هي $Q = Q_H - Q_L$؛ لذا يكون الشغل الذي يبذله المحرك هو $W = Q_H - Q_L$. وتولد جميع المحـــركات الحرارية حرارة ضائعة (مفقودة)، ولذا لا يوجـــد محرك يحول الطاقة كلها إلى شغل أو حركة نافعة.

الكفاءة يتحدث المهندســـون وبائعو الســـيارات عن كفاءة اســـتهلاك الوقود في محركات المركبات، حيث يشـــيرون إلى كمية الحرارة الداخلة، Q_H، التي تتحول إلى شغل نافع W. ويعبر عن الكفاءة الفعلية للمحرك بالنســـبة W/Q_H. ومن الممكن أن تساوي الكفاءة مئة في المئة إذا تحولت الحرارة الداخلة كلها إلى شغل بفعل المحرك. ولكن بسبب وجود حرارة مفقودة دائمًا، لا تصل كفاءة أغلب المحركات – حتى إن كانت ذات كفاءة عالية – إلى مئة في المئة.

تعمل بعض المحركات بالطاقة الشمسية فتُجمّع الحرارة في المجمعات الشمسية عند درجة حرارة عالية، ثم تستخدم لتشغيل المحركات، حيث تنتقل الطاقة الشمسية في صورة موجات كهرومغناطيســية تعمل على زيادة الطاقة الداخلية للمجمعات الشمســية، ثم تنتقل هذه الطاقة في صورة حرارة إلى المحرك. الذي يعمل على تحويلها إلى شغل نافع وحرارة مفقودة.

المبردات (الثلاجات) تتدفق الحرارة تلقائيًّا من الجســـم الســـاخن إلى الجسم البارد. وعلى الرغم من ذلك، فإنه يمكن انتزاع الطاقة الحرارية من الجســـم الأبرد وإضافتها إلى الجسم الأســـخن ببذل شغل معين. ويعد المبرِّد مثالًا على الآلة التي تحقّق هذا الانتقال باستخدام شـــغل ميكانيكي؛ حيث تعمل الطاقة الكهربائية على تشـــغيل محرك، فيبذل المحرك شغلاً على الغاز فيضغطه.



■ **الشكل 13–6** يمتص المبرد الحرارة Q_L من المستودع البارد ويبعث الحرارة Q_H إلى المستودع الساخن، ببذل شغل W على المبرد.

يعـــبر الغاز الذي ينقل الحرارة من داخل المـــبرد (الثلاجة) عن طريق الضاغط إلى ملفات التكثيـــف الموجودة خارج المبرد (خلف الثلاجة)، حيث يبرد متحولاً إلى ســـائل، وتنتقل الطاقة الحرارية المفقودة بسبب إسالة الغاز إلى الهواء الموجود في الغرفة، ثم يعود السائل إلى داخل الثلاجة، فيتبخر بعد أن يمتص الطاقة الحرارية مما يحيط به (أي من داخل الثلاجة)، ثـــم ينتقل بعد ذلك إلى الضاغط، وتتكـــرر هذه العملية، ويكون التغـــير الكلي في الطاقة الحرارية للغاز يســـاوي صفرًا؛ لذا واستنادًا إلى القانون الأول في الديناميكا الحرارية، فإن مجموع الطاقة المأخوذة من محتويات المبردة والشـــغل المبذول بفعل المحرك يساوي الحرارة المنبعثة، كما يبين **الشكل 13–6**.

المضخات الحرارية إنّ المضخة الحرارية عبارة عن مبرد يعمل في اتجاهين، فتنتزع المضخة في الصيف الحرارة من المنزل، ولذا يبرد المنزل. أمّا في الشـــتاء فتنتزع الحرارة من الهواء البارد الذي في الخـــارج وتنقلها إلى داخل المنزل لتدفئته. وفي كلتـــا الحالتين، يتطلب ذلك طاقة ميكانيكية لنقل الحرارة من الجسم الأبرد إلى الجسم الأدفأ.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسائل تدريبية

22. يمتص بالون غاز 75 J من الحرارة. فإذا تمدّد هذا البالون وبقي عند درجة الحرارة نفسها، فما مقدار الشغل الذي بذله البالون في أثناء تمدده؟

23. يثقب مثقب كهربائي فجوة صغيرة في قالب من الألومنيوم كتلته 0.40 kg فيسخن الألومنيوم بمقدار 5.0 °C، ما مقدار الشغل الذي بذله المثقب؟

24. كم مرة يتعين عليك إسقاط كيس من الرصاص كتلته 0.50 kg من ارتفاع 1.5 m؛ لتسخين الرصاص بمقدار 1.0 °C؟

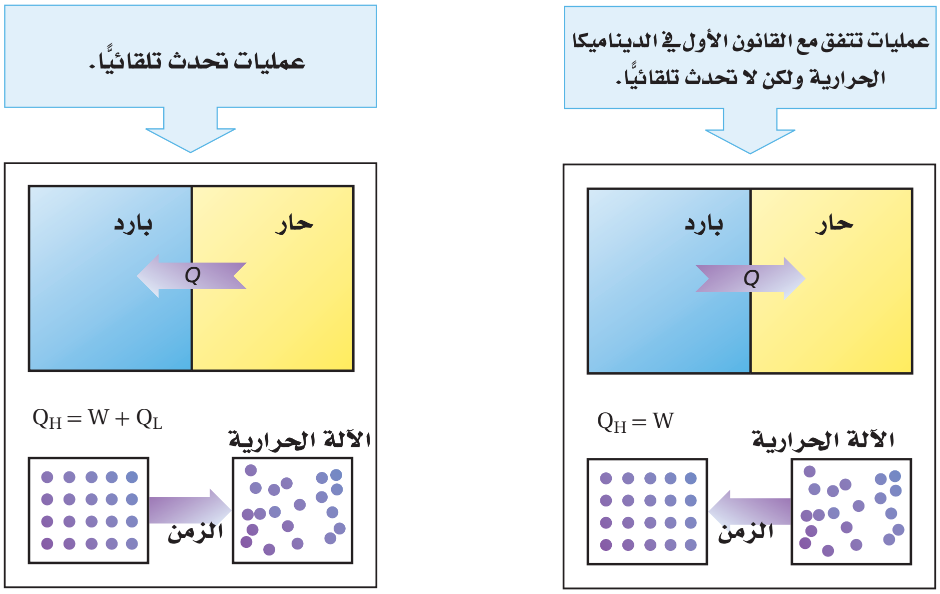
25. عندما تحرّك كوبًا من الشـــاي، تبذل شغلاً مقداره 0.05 J في كل مرة تحرك فيها الملعقة بصورة دائرية. كم مرة يجب أن تحرك الملعقة لترفع درجة حرارة كوب الشاي الذي كتلته 0.15 kg بمقدار 2.0 °C؟ (بإهمال زجاج الكوب)

26. كيف يمكن استخدام القانون الأول في الديناميكا الحرارية لشرح كيفية تخفيض درجة حرارة جسم ما؟

القانون الثاني في الديناميكا الحرارية
The Second Law of Thermodynamics

هناك العديد مــن العمليات التي تتفق مع القانــون الأول في الديناميكا الحرارية، ولكن بعضهــا لم تشــاهد وهي تحدث تلقائيًّا. فعلى ســبيل المثـال، لا يحظر القانــون الأول في الديناميكا الحرارية تدفق الحرارة من الجسم البارد إلى الجسم الساخن، ومع ذلك لم يحدث أن أصبحت الأجسام الساخنة أكثر سخونة عند وضعها ملامسة لأجسام باردة، وبالمثل، لم تصبح الأجسام الباردة أكثر برودة عند ملامستها لأجسام ساخنة، انظر **الشكل 14–6** .

الإنتروبي إذا حوّلت الآلات الحرارية الطاقة الحرارية بشــكل كامل إلى طاقة ميكانيكية دون أيّ حرارة ضائعة (مفقودة) فإنّ القانون الأول في الديناميكا الحرارية يكون قد تحقق.



■ **الشكل 14–6** العديد من العمليات التي تحقق القانون الأول في الديناميكا الحرارية لا تحدث تلقائيًّا. في حين تحقق العمليات التلقائية كلا القانونين الأول والثاني في الديناميكا الحرارية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

إلا أنّ الحرارة الضائعة تتولد دائمًا، ولا تشاهد جزيئات الغاز الموزعة عشوائيًّا ترتب نفسها تلقائيًّا في أنماط معينة. وقد درس المهندس الفرنسي سادي كارنو قدرة الآلات على تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية في القرن التاسـع عشر، حيث قدم إثباتًا منطقيًّا على أن الآلات كلها – حتى المثالية منها – سـتولد بعض الحـرارة الضائعة (المفقودة). وتوصف نتيجة كارنو على نحو أفضل بدلالة كمية تُسـمّى **الإنـتروبي**، وهي عبارة عن قياس لعدم الانتظام (الفوضى) في النظام.

عندما تسـقط كرة بيسـبول بفعل الجاذبية الأرضية، يكون لها طاقة وضع، وطاقة حركية تؤديان إلى إنجاز شـغل. إلا أنه عندما تسـقط الكرة خلال الهواء تصطـدم بالعديد من جزيئـات الهواء التي تمتص بعضًا من طاقة الكرة. وهذا يؤدي إلى تحرُّك جزيئات الهواء في اتجاهات، وسرعات عشوائية، حيث تؤدي الطاقة المكتسبة من الكرة إلى زيادة الفوضى بين الجزيئات. فكلما كان مدى سرعة الجزيئات أكبر كان عدم الانتظام (الفوضى) أكبر، والذي يزيد بدوره الإنتروبي. ومن المسـتبعد جدًّا أن تعود الجزيئات التي اضطربت، وتشتتت في جميع الاتجاهات إلى وضعها السابق معًا، مانحةً بذلك طاقاتها للكرة ومسببة ارتفاعها عن سطح الأرض.

إنّ الإنتروبي محتوى داخل الجسم، مثله في ذلك مثل الطاقة الحرارية، وعند إضافة حرارة إلى الجسـم، فإنَّ الإنتروبي يزداد، وإذا انتزعت حرارة من الجسم فإنّ الإنتروبي ينقص، أما إذا بذل الجسـم شغلاً دون أن تتغير درجة الحرارة فإنّ الإنتروبي لا يتغير ما دام الاحتكاك مهملاً. ويعبر عن التغير في الإنـتروبي ΔS بالمعادلة الآتية (حيث تكون وحدة الإنتروبي هي J /K وتكون درجات الحرارة مقيسة بالكلفن):

التغير في الإنتروبي $\Delta S = \frac{Q}{T}$

التغير في الإنتروبي لجسم ما يساوي مقدار كمية الحرارة المضافة إلى الجسم مقسومة على درجة حرارة الجسم بالكلفن.

مسـألة تحفيز

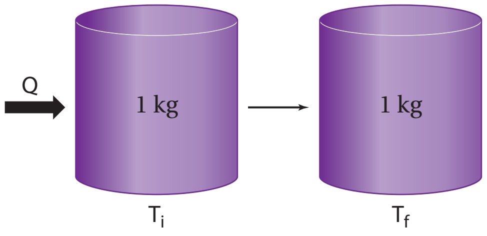
للإنتروبي بعض الخصائص المدهشـة. قارن بين الحالات الآتية، ووضح أوجه الاختلاف، بين هذه التغيرات للإنتروبي، معللاً ذلك.

1. تسخين 1 kg من الماء من 273 K إلى 274 K.

2. تسخين 1 kg من الماء من 353 K إلى 354 K.

3. صهر 1 kg من الجليد بشكل كامل عند 273 K.

4. تسخين 1 kg من الرصاص من 273 K إلى 274 K.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

ينص **القانون الثاني في الديناميكا الحرارية** على أن العمليات الطبيعية تجري في اتجاه المحافظة على الإنتروبي الكلي للكون أو زيادته. أيْ أن الأشـياء كلّها ستصبح أكثر عشوائية، وأقل انتظامًـا ما لم يُتّخذ إجراء معيـن يحافظ على انتظامها وترتيبهـا. ويمكن التفكير في زيادة الإنتروبي، وفي القانون الثاني في الديناميكا الحرارية على أنها عبارات تصف احتمال وقوع الأحداث. ويبين **الشـكل 15–6** زيادة الإنتروبي؛ حيث كانـت جزيئات صبغة الطعام منفصلة عـن الماء في بداية الأمر، ثم أصبحت مختلطة بجزيئـات الماء بعد فترة زمنية. من جهة أخرى، يوضح **الشـكل 16–6** مثالاً على قانون الديناميكا الحرارية الثاني، الذي قد يكون مألوفًا للعديد من الطلاب.

■ **الشكل 15–6** يُعد الاختلاط التلقائي لصبغة الطعام بالماء مثالاً على القانون الثاني في الديناميكا الحرارية.

■ **الشكل 16–6** يصل الإنتروبي تلقائيًا إلى قيمة كبيرة إذا لم يُبذَل شغل على النظام.

يتوقع من خلال القانون الثاني في الديناميكا الحرارية أن الحرارة تنتقل تلقائيًّا من الجسـم الساخن إلى الجسـم البارد فقط. افترض وجود قضيب حديدي ساخن وكأس ماء بارد، فسيكون متوسط سرعة حركة جزيئات الحديد كبيرًا جدًّا، في حين أن متوسط سرعة حركة جزيئـات الماء أقل منه في الحديد. وعند وضع القضيب في الماء والوصول إلى حالة الاتزان الحراري، فإن متوسـط الطاقة الحركية للجزيئات في الحديد والماء تصبح متماثلة. وفي هذه الحالـة فإن عددًا كبيرًا من الجزيئات، أصبحت حركتها العشـوائية أكبر مما كانت عليه في البداية، وهذه الحالـة النهائية تكون أقل ترتيبًا من الحالـة الابتدائية. ولا تبقى الجزيئات السريعة مقتصرة على الحديد فحسـب، كما لم تعد الجزيئات الأبطأ مقتصرة على الماء فقط؛ إذ إن السرعات جميعهـا موزعة بانتظام. ويكون الإنتروبي للحالة النهائية أكبر منه للحالة الابتدائية.

مخالفات للقانون الثاني إننا نعتبر العديد من الأحداث اليوميـة التي تحدث تلقائيًّا، أو طبيعيًّا، في اتجاه واحد من الأمور البديهية؛ وسـوف نندهش إذا وقعت الأحداث نفسـها بشـكل معكوس تلقائيًّا. فمثلاً، لن تندهش عندما تُسخّن ملعقة معدنية من أحد طرفيها، فتصبح سـاخنة بأكملها بانتظام. ولكن تخيل ردة فعلك، إذا كانت لديك ملعقة مسـتقرة على طاولة، وفجأة أصبح أحد طرفيها سـاخنًا ومحمرًا، والطرف الآخر متجمدًا وباردًا!

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

وإذا غُصْت في بركة سباحة فسوف تتوقع بديهيًّا أنك ستدفع جزيئات الماء بعيدًا عند دخولك إلى الماء، ولكنك ستندهش إذا عملت الجزيئات كلها على قذفك تلقائيًّا إلى منصة الغطس. لن يخالف أي من هذه العمليات الافتراضية المعكوسة القانون الأول في الديناميكا الحرارية. وتعد ببساطة أمثلة على الأحداث التي لا تحدث ولا حصر لها؛ لأن عملياتها تخالف القانون الثاني في الديناميكا الحرارية.

يقدم القانون الثاني في الديناميكا الحرارية وزيادة الإنتروبي معنى جديدًا لما يسمّى أزمة الطاقة. وتشير أزمة الطاقة إلى المشاكل الناجمة عن الاستخدام المستمرّ للمصادر المحدودة من الوقود الأحفوري، مثل الغاز الطبيعي، والنفط. فأنت عندما تستخدم مصدرًا مثل الغاز الطبيعي لتدفئة منزلك، فإنك لا تستهلك الطاقة التي في الغاز، وإنما تحول الطاقة الكيميائية الكامنة في جزيئات الغاز إلى طاقة حرارية في اللهب، ثم تنتقل الطاقة الحرارية التي في اللهب إلى طاقة حرارية في الهواء داخل المنزل، ولا تفنى الطاقة حتى لو تسرب هذا الهواء الدافئ إلى الخارج؛ فالطاقة لم تستهلك. أما الإنتروبي فقد ازداد.

إنّ التركيب الكيميائي للغاز الطبيعي منظم جدًّا، وكما تعلمت، عندما تصبح مادة أكثر سخونة، فإن متوسط الطاقة الحركية للجزيئات داخل المادة يزداد، أمّا الحركة العشوائية للهواء الدافئ فتصبح غير منتظمة. ورغم أنه من الممكن رياضيًّا للترتيب الكيميائي الأصلي أن يُعاد تشكيله، إلا أن احتمال حدوث ذلك بالتأكيد معدومة. ولهذا السبب، يُستخدم الإنتروبي غالبًا بوصفه مقياسًا لعدم توافر طاقة مفيدة. فالطاقة التي في الهواء الدافئ في المنزل غير متوافرة لتنجز شغلاً ميكانيكيًّا أو لتنقل الحرارة إلى أجسام أخرى، كما هو الحال بالنسبة لجزيئات الغاز الأصلية. وإن نقص الطاقة القابلة للاستخدام هو فعليًّا فائض في الإنتروبي. وأخيرًا يمكن القول بأن علم الديناميكا الحرارية ظهر بوصفه علمًا يدرس تحول الطاقة الحرارية إلى شغل ميكانيكي في أواخر القرن الثامن عشر وكان أساسًا لعمل الآلات الحرارية. ويبين **الشكل 17–6** إسهامات بعض العلماء فيه.

الشكل 17–6 خط زمني يبين إسهامات بعض العلماء في تطور علم الديناميكا الحرارية وتطبيقاتها.

1790's | **1824** | **1840** | **1841** | **1844** | **1845**

1790'sم ظهر علم الديناميكا الحرارية بوصفه علمًا يدرس تحول الطاقة الحرارية إلى شغل ميكانيكي؛ واستنادًا إلى ذلك وضعت الأسس النظرية لعمل الآلات الحرارية.

1824م درس كارنو كمية الحرارة التي تعمل عليها الآلة البخارية (دورة كارنو).

1840م درس العالم هيرمان هس الحرارة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية وتوصل إلى إمكانية تحول الطاقة من حالة إلى أخرى.

1841م يوليوس ماير توصل إلى قانون بقاء الطاقة (الطاقة في نظام مغلق تبقى ثابتة).

1844م أوجد العالم جيمس جول المكافئ الميكانيكي الحراري.

1845م ربط العالم كلاوسيوس تحويل الطاقة إلى شغل ميكانيكي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

27. الحرارة الكامنة للتبخر يرسل النظام القديم للتدفئة بخارًا داخل الأنابيب في كل غرفة من المنزل، ويتكثف هذا البخار في داخل المبرد ليصبح ماءً. حلّل هذه العملية، واشرح كيف تعمل على تدفئة الغرفة؟

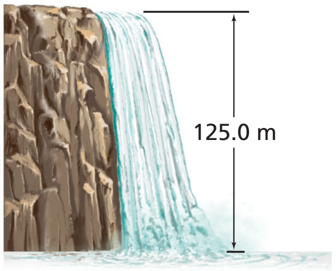
28. الحرارة الكامنة للتبخر ما مقدار كمية الحرارة اللازمة لتحويل 50.0 g من الماء عند درجة حرارة 80.0 °C إلى بخار عند درجة حرارة 110.0 °C؟

29. الحرارة الكامنة للتبخر ما مقدار الطاقة اللازمة لتسخين 1.0 kg من الزئبق عند درجة حرارة 10.0 °C إلى درجة الغليان وتبخره كاملاً؟ علماً بأن الحرارة النوعية للزئبق هي 140 J /Kg.0C، والحرارة الكامنة لتبخره هي 3.06×10^5 J / kg، ودرجة غليان الزئبق هي 357 °C.

30. الطاقة الميكانيكية والطاقة الحرارية قاس جيمس جول الفرق في درجة حرارة الماء عند قمة شلال ماء وعند قاعه بدقة. فلماذا توقع وجود فرق؟

31. الطاقة الميكانيكية والطاقة الحرارية يستخدم رجل مطرقة كتلتها 320 kg تتحرك بسرعة 5.0 m /s لتحطيم قالب رصاص كتلته 3.0 kg موضوع على صخرة كتلتها 450 kg. وعندما قاس درجة حرارة القالب وجد أنها زادت 5.0 °C. فسّر ذلك.

32. الطاقة الميكانيكية والطاقة الحرارية تتدفق مياه شلال يرتفع 125.0 m كما في **الشكل 18-6**. احسب الفرق في درجة حرارة الماء بين قمة الشلال وقاعه إذا تحولت كل طاقة وضع الماء إلى طاقة حرارية.



■ **الشكل 18-6**

33. الإنتروبي لماذا ينتج عن تدفئة المنزل عن طريق الغاز الطبيعي زيادة في كمية الفوضى أو العشوائية؟

34. التفكير الناقد إذا كان لديك أربع مجموعات من بطاقات فهرسة، لكل مجموعة لون محدّد. تحتوي كل مجموعة 20 ورقة مرقمة. فإذا خلطت بطاقات هذه المجموعات معًا عدة مرات فهل يحتمل أن تعود البطاقات إلى ترتيبها الأصلي؟ وضح ذلك. وما القانون الفيزيائي الذي ينطبق عليه هذا المثال؟

1850م استنتج بولتزمان إمكانية حدوث التغير العكوس في نظام مغلق.

1875—1878م أثبت ويلارد غيبس ما توصل إليه هلمولتز من حيث الربط بين الطاقة الكهربائية للبطارية و الطاقة الكيميائية والحرارية الناتجة عن التفاعلات فيها.

1999 | 1945 | 1875–1878 | 1862 | 1850

1862م توصل مارسين برتلوت إلى إمكانية الحصول على قوة دافعة من الحرارة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية.

1945م اقترح سيلسيوس أن تكون درجة الصفر هي درجة تجمد الماء ودرجة 100 هي درجة غليانه.

1999م قدم العالم إليوت ليب منظومة الثيرموديناميكا لتفسير الإنتروبي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مختبر الفيزياء

التسخين والتبريد

عند وضع دورق ماء على صفيحة ساخنة فإنّ الحرارة تنتقل في البداية إلى الدورق ثم إلى الماء في قاع الدورق بالتوصيل، ثم ينقل الماء الحرارة من القاع إلى أعلى خلال تحريك الماء الساخن للقمة عن طريق الحمل الحراري. وعند إزالة أو فصل مصدر الحرارة، يشع الماء طاقة حرارية حتى يصل إلى درجة حرارة الغرفة. وتعتمد السرعة التي يسخن بها الماء على كمية الحرارة المضافة، وكتلة الماء، وسعته الحرارية النوعية.

سؤال التجربة

كيف يمكن أن تؤثر الزيادة المستمرة الثابتة للطاقة الحرارية في درجة حرارة الماء؟

الأهداف

- **تقيس** درجة الحرارة والكتلة بالوحدات الدولية.
- **ترسم الرسوم البيانية وتستخدمها** للمساعدة على وصف تغير درجة حرارة الماء عند تسخينه وتبريده.
- **تفسر** أوجه التشابه والاختلاف بين هذين التغيرين.

احتياطات السلامة

- **احذر عند التعامل مع صفيحة السخان الكهربائي الحارة.**

المواد والأدوات

سخان كهربائي (أو لهب بنسن)

دورق زجاجي حراري سعته 250 ml

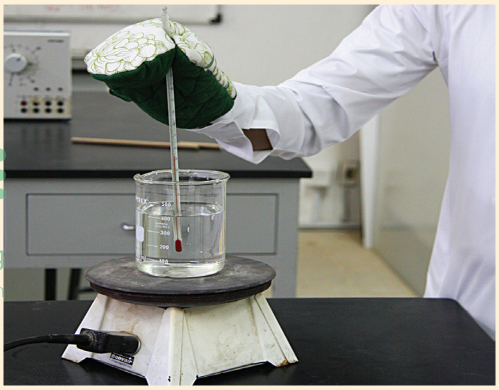
(50–200)g من الماء

مقياسا درجة حرارة (غير زئبقيين)

ساعة إيقاف

الخطوات

1. شغل السخان الكهربائي على أعلى درجة حرارة ممكنة، أو كما يرشدك المعلم، وانتظر عدة دقائق حتى تسخن.
2. قس كتلة الدورق الفارغ.
3. املأ الدورق بمقدار 150 ml من الماء، ثم قس كتلة الدورق والماء.
4. احسب كتلة الماء في الدورق وسجلها.
5. اعمل جدولاً للبيانات.
6. سجل درجة الحرارة الابتدائية للماء والهواء في الغرفة. على ألا يلامس قاع مقياس الحرارة قاع الدورق أو جوانبه، أو الطاولة أو اليدين.
7. ضع الدورق على صفيحة السخان الكهربائي، وسجل درجة الحرارة كل دقيقة مدة 5 دقائق.
8. ارفع الدورق عن الصفيحة بحذر، وسجل درجة الحرارة كل دقيقة مدة عشر دقائق.
9. سجل درجة حرارة الهواء في نهاية الفترة.
10. افصل قابس السخان الكهربائي.
11. اترك الأدوات عند الانتهاء حتى تبرد، وتخلص من الماء وفق إرشادات المعلم.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

جدول البيانات	
كتلة الماء	
درجة حرارة الهواء الابتدائية	
درجة حرارة الهواء النهائية	
التغير في درجة حرارة الهواء	

الزمن (دقائق)	درجة الحرارة (°C)	تسخين أو تبريد

التحليل

1. احسب التغير في درجة حرارة الهواء لتحديد ما إذا كانت درجة حرارة الهواء متغيرًا خارجيًّا.
2. مثّل بيانيًّا العلاقة بين درجة الحرارة (المحور الرأسي) والزمن (المحور الأفقي). واستخدم الحاسوب أو الآلة الحاسبة لرسم المنحنى إذا أمكن ذلك.
3. **احسب** ما التغير في درجة حرارة الماء في حالة التسخين؟
4. **احسب** ما الانخفاض في درجة حرارة الماء بعد إبعاد مصدر الحرارة؟
5. احسب متوسط ميل المنحنى البياني لارتفاع درجة الحرارة من خلال قسمة التغير في درجة الحرارة على زمن تسخين الماء.
6. احسب متوسط ميل المنحنى البياني لانخفاض درجة الحرارة من خلال قسمة التغير في درجة الحرارة على الزمن من لحظة إبعاد مصدر الحرارة.

الاستنتاج والتطبيق

1. **لخص** ما التغير الذي طرأ على درجة حرارة الماء عند وضع مصدر الحرارة؟
2. **لخص** ما التغير الذي طرأ على درجة حرارة الماء بعد إبعاد مصدر الحرارة مباشرة؟
3. ما الذي يحدث لدرجة حرارة الماء بعد الدقائق العشر الآتية؟ وهل تستمر في الانخفاض إلى الأبد؟
4. أيهما بدا أسرع: تسخين الماء أم تبريده؟ ولماذا تعتقد ذلك؟ تلميح: تفحص قيم الميل التي حسبتها.
5. **كوّن فرضية** أين ذهبت الطاقة الحرارية للماء عندما بدأ الماء يبرد؟ ادعم فرضيتك.

التوسع في البحث

1. هل يؤدي وضع مقياس الحرارة في أعلى الماء داخل الدورق إلى إعطاء قراءة مختلفة عما إذا وضع في قاع الدورق؟ فسّر ذلك.
2. كوِّن فرضية لاستنتاج التغيرات في درجة الحرارة إذا كان لديك الكميات الآتية من الماء في الدورق: 50 ml ،250 ml.
3. افترض أنك عزلت الدورق المستخدم، فكيف تتأثر قابلية الدورق للتسخين أو التبريد؟

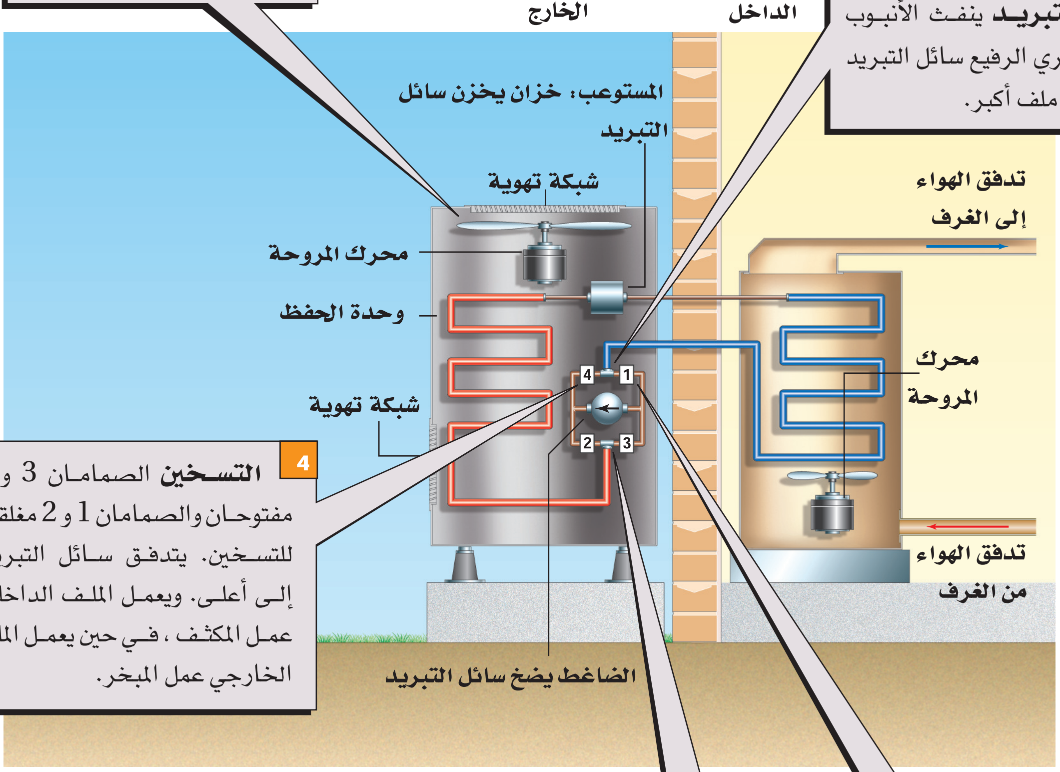
الفيزياء في الحياة

1. افترض أنك استخدمت زيتًا نباتيًّا بدلاً من الماء في الدورق. كوِّن فرضية حول تغيرات درجة الحرارة إذا اتبعت الخطوات نفسها ونفذت التجربة.
2. إذا أخذت كمية حساء عند درجة حرارة الغرفة، وسخنتها في فرن ميكروويف مدة 3 دقائق، فهل يعود الحساء إلى درجة حرارة الغرفة في 3 دقائق؟ فسّر ذلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

كيف تعمل مضخة الحرارة؟ The Heat Pump

اخترعت مضخات الحرارة عام 1940 م، ويُطلق عليها أيضًا مكيفات الهواء العكسية، وهي تستخدم لتدفئة وتبريد المنازل وغرف الفنادق. وتتحول مضخات الحرارة من مدافئ إلى مكيفات هواء عن طريق عكس اتجاه انتقال الحرارة (تدفق التبريد) خلال النظام.



1 **التبريد** ينفث الأنبوب الشعري الرفيع سائل التبريد داخل ملف أكبر.

2 **التبريد** الصمامان 1 و 2 مفتوحان، والصمامان 3 و 4 مغلقان من أجل التبريد. يتدفق سائل التبريد إلى أسفل. ويعمل الملف الداخلي عمل المبخر، في حين يعمل الملف الخارجي عمل المكثف.

3 **التسخين** ينفث الأنبوب الشعري سائل التبريد داخل أنبوب ذي قطر أكبر في ملف خارجي للتسخين.

4 **التسخين** الصمامان 3 و 4 مفتوحان والصمامان 1 و 2 مغلقان للتسخين. يتدفق سائل التبريد إلى أعلى. ويعمل الملف الداخلي عمل المكثف، في حين يعمل الملف الخارجي عمل المبخر.

5 تبرّد المروحة الملف خلال التبريد، وتُسخّنه خلال التسخين.

التفكير الناقد

1. **لاحظ** تتبع تدفق سائل التبريد خلال النظام في حالتي التسخين والتبريد، مبتدئًا من الضاغط.
2. **حلّل** هل تكون مضخة الحرارة قادرة على التسخين داخل المنزل عندما تنخفض درجة الحرارة الخارجية إلى مستويات باردة جدًّا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 6

دليل مراجعة الفصل

6–1 درجة الحرارة والطاقة الحرارية Temperature and Thermal Energy

المفردات

- الطاقة الحرارية
- التوصيل الحراري
- الاتزان الحراري
- الحرارة
- الحمل الحراري
- الإشعاع الحراري
- الحرارة النوعية

المفاهيم الرئيسة

- تتناسب درجة حرارة الغاز طرديًّا مع متوسط الطاقة الحركية لجزيئاته.
- الطاقة الحرارية هي مقياس للحركة الداخلية لجزيئات الجسم.
- يصل مقياس الحرارة إلى الاتزان الحراري مع الجسم الملامس له، ثم تشير خاصية للمقياس – تعتمد على الحرارة – إلى درجة الحرارة.
- يستخدم مقياسا درجة الحرارة سلسيوس وكلفن في البحث العلمي. وكل تغير بمقدار 1 K يساوي تغيرًا بمقدار 1 °C.
- لا يمكن انتزاع أيّ طاقة حرارية من المادة عندما تكون درجة حرارتها صفرًا مطلقًا.
- الحرارة هي الطاقة المنتقلة بسبب اختلاف درجات الحرارة.

$$Q = mC\Delta T = mC\,(T_f - T_i)$$

- الحرارة النوعية هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1kg من المادة بمقدار 1k.
- يمكن أن تتدفق الحرارة في النظام المغلق والمعزول، وينتج عن ذلك تغير الطاقة الحرارية لأجزاء النظام، ولكن الطاقة الكلية للنظام تبقى ثابتة. $E_A + E_B =$ ثابت

6–2 تغيرات حالة المادة وقوانين الديناميكا الحرارية Changes of State and The Laws of Thermodynamics

المفردات

- الحرارة الكامنة للانصهار
- الحرارة الكامنة للتبخر
- القانون الأول في الديناميكا الحرارية
- المحرك الحراري
- الإنتروبي
- القانون الثاني في الديناميكا الحرارية

المفاهيم الرئيسة

- الحرارة الكامنة للانصهار هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل 1kg من المادة الصلبة إلى حالتها السائلة عند نقطة انصهارها. $Q = mH_f$
- الحرارة الكامنة للتبخر هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل 1 kg من المادة السائلة إلى حالتها الغازية عند نقطة غليانها. $Q = mH_v$
- انتقال الحرارة خلال تغير حالة المادة لا يغير درجة حرارتها.
- إن التغير في طاقة جسم ما هو مجموع الطاقة المضافة إليه مطروحًا منه الشغل الذي يبذله الجسم.

$$\Delta U = Q - W$$

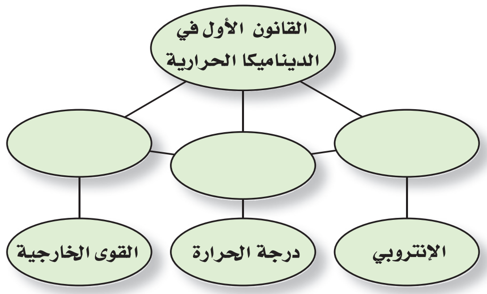
- يحوّل المحرك الحراري الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية باستمرار.
- تستخدم مضخة الحرارة والمبردة (الثلاجة) الطاقة الميكانيكية لنقل الحرارة من الحيز الذي درجة حرارته أقل إلى الحيز الذي درجة حرارته أكبر.
- الإنتروبي هو قياس للفوضى في النظام. $\Delta S = \frac{Q}{T}$
- يعرف التغير في الإنتروبي لجسم ما على أنه مقدار الحرارة المضافة إلى الجسم مقسومة على درجة حرارته بالكلفن.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 6 التقويم

خريطة المفاهيم

35. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: الحرارة، الشغل، الطاقة الداخلية.



إتقان المفاهيم

36. وضح الاختلافات بين الطاقة الميكانيكية لكرة ما، وطاقتها الحرارية، ودرجة حرارتها. (1–6)

37. هل يمكن وجود درجة حرارة للفراغ؟ وضح ذلك. (1–6)

38. هل جميع الجزيئات أو الذرات في السائل لها السرعة نفسها؟ (1–6)

39. هل يُعد جسم الإنسان مقياسًا جيدًا لدرجة الحرارة؟ تشعر في يوم شتاء بارد، أن مقبض الباب المعدني أبرد من المقبض الخشبي. فسر ذلك. (1–6)

40. عند تدفق الحرارة من جسم ساخن ملامس لجسم بارد، هل يحدث للجسمين التغير نفسه في درجات الحرارة؟ (1–6)

41. هل تستطيع إضافة طاقة حرارية إلى جسم دون زيادة درجة حرارته؟ فسر ذلك. (2–6)

42. عندما يتجمد الشمع، هل يمتص طاقة أم يبعث طاقة؟ (2–6)

43. فسر لماذا يبقى الماء في القربة المحاطة بقماش رطب باردًا أكثر من حالة عدم وجود القماش؟ (2–6)

44. أي العمليات تحدث في ملفات مكيف الهواء الموجودة داخل المنزل: التبخر أم التكثف؟ وضح ذلك. (2–6)

تطبيق المفاهيم

45. **الطبخ** تطهو امرأة اللحم في قدر ماء يغلي. فهل ينضج اللحم أسرع عند غلي الماء بشدة أو غليه بهدوء (على نار هادئة)؟

46. أي السائلين يبرّده مكعب من الثلج أسرع: الماء أم الميثانول؟ وضح ذلك.

47. سُخنت كتلتان متساويتان من الألومنيوم والرصاص بحيث أصبحتا عند درجة الحرارة نفسها، ثم وضعت القطعتان على لوحين متماثلين من الجليد. أيهما يصهر جليدًا أكثر؟ وضح ذلك.

48. لماذا يشعر الشخص ببرودة السوائل السريعة التبخر على الجلد، ومنها الأسيتون والميثانول؟

49. أُسقط قالبان من الرصاص لهما درجة الحرارة نفسها في كأسين متماثلتين من الماء متساويتين في درجة الحرارة. فإذا كانت كتلة القالب A ضعف كتلة القالب B، فهل يكون لكأسي الماء درجات الحرارة نفسها بعد الوصول إلى حالة الاتزان الحراري؟ وضح ذلك.

إتقان حل المسائل

1–6 درجة الحرارة والطاقة الحرارية

50. ما مقدار كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 50.0 g من الماء من درجة حرارة 4.5 °C إلى درجة حرارة 83.0 °C؟

51. يمتص قالب من المعدن كتلته 5.0×10^2 g كمية من الحرارة مقدارها 5016 J عندما تتغير درجة حرارته من 20.0 °C إلى 30.0 °C. احسب الحرارة النوعية للمعدن.

52. **فنجان قهوة** وضع فنجان قهوة زجاجي كتلته 4.00×10^2g ودرجة حرارته 20.0°C في وعاء تسخين درجة حرارته 80.0°C كما في **الشكل 19–6**. فأصبحت درجة حرارة الفنجان مساوية لدرجة حرارة الوعاء. احسب كمية الحرارة التي امتصها الفنجان؟ افترض أن كتلة وعاء التسخين كبيرة بما يكفي، فلا تتغير درجة حرارته بشكل ملحوظ.

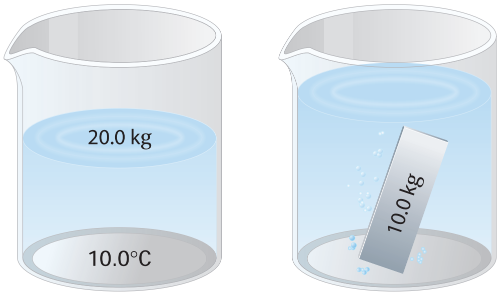
الشكل 19–6

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

53. وضعت كتلة من التنجستن مقدارها 1.00×10^2 g، ودرجة حرارتها 100.0 °C في 2.00×10^2 g من الماء عند درجة 20.0 °C. فوصل الخليط إلى الاتزان الحراري عند درجة 21.6 °C. احسب الحرارة النوعية للتنجستن.

54. خُلطت عينة كتلتها 6.0×10^2 g من الماء عند درجة 90.0 °C بعينة ماء كتلتها 4.0×10^2 g عند 22.0 °C. فإذا افترضت عدم فقدان أي حرارة للمحيط، فما درجة الحرارة النهائية للخليط؟

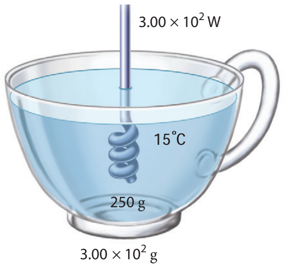
55. وضعت قطعة خارصين في وعاء ماء كما في **الشكل 20–6**. فإذا كانت كتلة القطعة 10.0 kg، ودرجة حرارتها 71.0 °C، وكتلة الماء 20.0 kg، ودرجة حرارته قبل إضافة القطعة 10.0 °C، فما درجة الحرارة النهائية للماء والخارصين؟



■ **الشكل 20–6**

56. إن الطاقة الحركية لسيارة صغيرة تتحرك بسرعة 100 km/h هي 2.9×10^5 J. لتكون انطباعًا جيدًا عن مفهوم الطاقة، احسب حجم الماء (باللتر) الذي ترتفع حرارته من درجة حرارة الغرفة (20.0 °C) إلى درجة الغليان (100.0 °C) إذا اكتسب طاقة مقدارها 2.9×10^5 J.

57. **سخان الماء** يستخدم سخان ماء قدرته 3.0×10^5 W لتسخين قدح ماء كما في **الشكل 21–6**. ما مقدار الزمن اللازم لجعل الماء يغلي، إذا كان القدح مصنوعًا من الزجاج وكتلته 3.0×10^2 g ويحتوي 250 g من الماء عند 15 °C؟ افترض أن درجة حرارة القدح مساوية لدرجة حرارة الماء، وأنه لن يفقد الحرارة إلى الهواء.



■ **الشكل 21–6**

58. **محرك السيارة** يحتوي محرك سيارة حديد كتلته 2.50×10^2 kg كما يحتوي على ماء للتبريد. افترض أن درجة حرارة المحرك لحظة توقفه عن العمل 35.0 °C، ودرجة حرارة الهواء 10.0 °C. فما مقدار كتلة الماء المستخدمة لتبريد المحرك، إذا كانت كمية الحرارة الناتجة عن المحرك والماء داخله عندما يبردان ليصلا إلى درجة حرارة الهواء هي 4.40×10^6 J؟

2–6 تغيرات حالة المادة وقوانين الديناميكا الحرارية

59. كانت إحدى طرائق التبريد قديمًا تقتضي استخدام قالب من الجليد كتلته 20.0 kg يوميًّا في صندوق الجليد المنزلي. وكانت درجة حرارة الجليد 0.0 °C عند استلامه. فما مقدار كمية الحرارة التي يمتصها القالب في أثناء انصهاره؟

60. كُثفت عينة من الكلوروفورم كتلتها 40.0 g من بخار عند درجة 61.6 °C إلى سائل عند درجة 61.6 °C، فانبعثت كمية من الحرارة مقدارها 9870 J. ما الحرارة الكامنة لتبخر الكلوروفورم؟

61. تحركت سيارة كتلتها 750 kg بسرعة 23 m/s ثم توقفت بالضغط على المكابح. فإذا احتوت المكابح على 15 kg من الحديد الذي يمتص الحرارة. فما مقدار الزيادة في درجة حرارة المكابح؟

62. ما مقدار كمية الحرارة المضافة إلى كتلة 10.0 g من الجليد عند درجة −20.0 °C لتحويلها إلى بخار ماء عند درجة 120.0 °C؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

63. تتحرك قذيفة من الرصاص كتلتها 4.2 g بسرعة 275 m/s فتصطدم بصفيحة فولاذية وتتوقف، فإذا تحولت طاقتها الحركية كلها إلى طاقة حرارية دون فقدان أي شيء منها، فما مقدار التغير في درجة حرارتها؟ افترض أن الحرارة كلها بقيت في الرصاصة وأن مادتها هي الرصاص.

64. ينتج كل 100 ml من مشروب خفيف طاقة مقدارها 1.7 kJ، فإذا كانت العلبة منه تحتوي على 375 ml، وشربت فتاة العلبة وأرادت أن تفقد مقدار ما شربته من الطاقة من خلال صعود درجات سلم، فما مقدار الارتفاع الذي ينبغي أن تصعد إليه الفتاة إذا كانت كتلتها 65.0 kg؟

مراجعة عامة

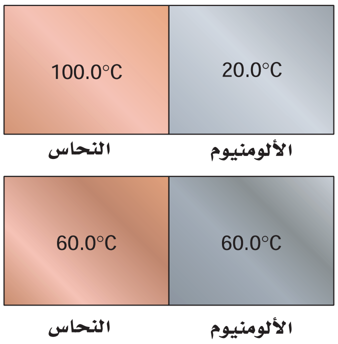
65. ما كفاءة المحرك الذي ينتج 2200 J/s عندما يحرق من البنزين ما يكفي لإنتاج 5300 J/s؟ وما مقدار كمية الحرارة الضائعة التي ينتجها المحرك كل ثانية؟

66. **مكبس أختام** تبذل آلة أختام معدنية في مصنع 2100 J من الشغل في كلّ مرة تختم فيها قطعة معدنية. ثم تغمس كل قطعة مختومة في حوض يحتوي 32.0 kg من الماء للتبريد. فما مقدار الزيادة في درجات حرارة الحوض في كل مرة تغمس فيها قطعة معدنية مختومة؟

67. تحركت سيارة كتلتها 1500 kg بسرعة 25 m/s، ثم توقفت تمامًا عن الحركة بعد ضغط سائقها على المكابح. ما مقدار التغير في درجة حرارة المكابح إذا أودعت كامل طاقة السيارة في المكابح المصنوعة من الألومنيوم والتي كتلتها 45 kg؟

68. **الشاي المثلج** لتصنع الشاي المثلج تمزجه بالماء الساخن، ثم تضيف إليه الجليد. فإذا بدأت بمقدار 1.0 L من الشاي عند درجة 90 °C، فما أقل كمية من الجليد يتطلبها تبريده إلى درجة 0 °C؟ وهل من الأفضل ترك الشاي يبرد إلى درجة حرارة الغرفة قبل إضافة الجليد إليه؟

69. وضع قالب من النحاس عند 100.0 °C ملامسًا قالبًا من الألومنيوم عند 20.0 °C، كما في **الشكل 22–6**. ما الكتل النسبية للقالبين إذا كانت درجة الحرارة النهائية لهما 60.0 °C؟



■ **الشكل 22–6**

70. ينزلق قالب من النحاس كتلته 0.53 kg على سطح الأرض، ويصطدم بقالب مماثل يتحرك في الاتجاه المعاكس بمقدار السرعة نفسه. فإذا توقف القالبان بعد الاصطدام، وازدادت درجة حرارتهما بمقدار 0.20 °C نتيجة التصادم، فما مقدار سرعتيهما قبل الاصطدام؟

71. ينزلق قالب من الجليد كتلته 2.2 kg على سطح خشن. فإذا كانت سرعته الابتدائية 2.5 m/s وسرعته النهائية 0.5 m/s، فما مقدار ما ينصهر من قالب الجليد نتيجة للشغل المبذول بفعل الاحتكاك؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 6

التفكير الناقد

.72 **حلّل ثم استنتج** ينتزع محرك حراري معين 50.0 J من الطاقة الحرارية من مستودع حار عند درجة حرارة $T_H = 545\ K$، ويبعث 40.0 J من الحرارة إلى مستودع بارد عند درجة حرارة $T_L = 325\ K$. كما يعمل على نقل الإنتروبي من مستودع إلى آخر أيضًا خلال العملية.

a. كيف يعمل المحرك على تغيير الإنتروبي الكلي للمستودعين؟

b. ماذا سيكون تغير الإنتروبي الكلي في المستودعين إذا كانت $T_L = 205\ K$؟

.73 **حلّل ثم استنتج** تزداد عمليات الأيض للاعبي كرة القدم خلال اللعبة بمقدار 30.0 W. ما مقدار العرق الذي يجب أن يتبخر من اللاعب كل ساعة ليبدد هذه الطاقة الحرارية الإضافية؟

.74 **حلّل ثم استنتج** يستخدم الكيميائيون المسعر لقياس كمية الحرارة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية. فعلى سبيل المثال، يذيب كيميائي 1.0×10^{22} جزيئًا من مسحوق مادة في مسعر يحتوي 0.5 kg من الماء، فتتحطم الجزيئات وتتحرّر طاقة ربطها ليمتصها الماء، فتزداد درجة حرارة الماء إلى 2.3 °C. ما مقدار طاقة الربط لكل جزيء مع هذه المادة؟

.75 **تطبيق المفاهيم** تعد الشمس مصدر جميع أشكال الطاقة على الأرض. حيث تكون درجة حرارة سطح الشمس $10^4\ K$ تقريبًا. ماذا يحدث للعالم لو كانت درجة حرارة سطح الشمس $10^3\ K$؟

الكتابة في الفيزياء

.76 لقد تأثـر فهمنا للعلاقة بين الحـرارة والطاقة بأعمال بنجامين ثومسون، وكونت رمفورد، وجيمس جول. حيث اعتمدوا على النتائج التجريبية لتطوير أفكارهم. تحقق من التجارب التي قاموا بها، وقدّر هل من الإنصاف تسمية وحدة الطاقة بالجول بدلاً من ثومسون؟

.77 للماء حرارة نوعية كبيرة غير عادية، كما أن كلًّا من الحرارة الكامنة لانصهاره وتبخره عالية. ويعتمد الطقس على الماء في حالاته الثلاث. تُرى كيف يكون العالم إذا كانت خصائص الماء الحرارية مثل خصائص الموادّ الأخرى كالميثانول مثلاً؟

مراجعة تراكمية

.78 ترفع رافعة كتلة مقدارها 180 kg إلى ارتفاع 1.95 m. ما مقدار الشغل الذي تبذله الرافعة لرفع الكتلة؟ (الفصل 4)

.79 في عرض للقوة طُلب إلى مجموعة من الجنود الأشداء دحرجة صخور كتلة كل منها 215 kg إلى أعلى تل ارتفاعه 33 m، فإذا كان بإمكان أحد المشـاركين توليد قدرة متوسـطها 0.2 kW، فكم صخرة خلال 1 h يستطيع أن يدحرج إلى أعلى التل؟ (الفصل 5)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. أي تحويلات درجات الحرارة الآتية غير صحيح؟

Ⓐ $-273\ ^\circ C = 0\ K$

Ⓑ $273\ ^\circ C = 546\ K$

Ⓒ $298\ K = 571\ ^\circ C$

Ⓓ $88\ K = -185\ ^\circ C$

2. ما وحدات الإنتروبي؟

Ⓐ J / K

Ⓑ K / J

Ⓒ J

Ⓓ kJ

3. أي العبارات الآتية المتعلقة بالاتزان الحراري غير صحيح؟

Ⓐ عندما يكون جسمان في حالة اتزان فإن الإشعاع الحراري بين الجسمين يستمر في الحدوث.

Ⓑ يستخدم الاتزان الحراري في توليد الطاقة في المحرك الحراري.

Ⓒ يستخدم مبدأ الاتزان الحراري في الحسابات المسعرية.

Ⓓ عندما لا يكون جسمان في حالة اتزان فإن الحرارة ستتدفق من الجسم الساخن إلى الجسم الأبرد منه.

4. ما كمية الحرارة اللازمة لتسخين 87 g من الميثانول المتجمد عند 14 K إلى بخار عند 340 K؟ (درجة انصهاره $-97.6\ ^\circ C$، درجة غليانه $64.6\ ^\circ C$، افترض أن الحرارة النوعية للميثانول ثابتة في جميع حالاته).

Ⓐ 17 kJ

Ⓑ 69 kJ

Ⓒ 1.4×10^2 kJ

Ⓓ 1.5×10^2 kJ

5. أي العبارات الآتية المتعلقة بالطاقة والإنتروبي وتغيرات الحالة صحيح؟

Ⓐ يزيد تجميد الماء من طاقته حيث يكتسب ترتيبًا جزيئيًّا باعتباره تحوَّل إلى مادة صلبة.

Ⓑ كلما كانت الحرارة النوعية للمادة أكبر زادت درجة حرارة انصهارها.

Ⓒ حالات المادة ذات الطاقة الحركية الأكبر يكون لها إنتروبي أكبر.

Ⓓ لا يمكن أن تزداد الطاقة والإنتروبي في الوقت نفسه.

6. ما مقدار كمية الحرارة اللازمة لتدفئة 363 ml من الماء في زجاجة أطفال من $24\ ^\circ C$ إلى $38\ ^\circ C$؟

Ⓐ 21 kJ

Ⓑ 36 kJ

Ⓒ 121 kJ

Ⓓ 820 kJ

7. تكون هناك دائمًا كمية حرارة مفقودة في المحرك الحراري؛ لأنّ:

Ⓐ الحرارة لا تنتقل من الجسم البارد إلى الجسم الساخن.

Ⓑ الاحتكاك يعمل على إبطاء المحرك.

Ⓒ الإنتروبي يزداد في كل مرحلة.

Ⓓ مضخة الحرارة تستخدم طاقة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبـار مقـنن

8. ما مقدار كمية الحرارة اللازمة لصهر 81 g من الجليد عند درجة 0.0 °C في دورق ويسخن إلى 10 °C؟

Ⓐ 0.34 kJ　　Ⓒ 30 kJ

Ⓑ 27 kJ　　Ⓓ 190 kJ

9. إذا بذلت 0.050 J من الشغل على القهوة في الفنجان في كل مـرة تحركها، فما مقدار الزيادة في الإنتروبي في 125 ml من القهوة عند درجة 65 °C عندما تحركها 85 مرة؟

Ⓐ 0.013 J /K　　Ⓒ 0.095 J /K

Ⓑ 0.050 J　　Ⓓ 4.2 J

الأسئلة الممتدة

10. ما الفرق بين كمية الحرارة اللازمة لصهر 454 g من الجليد عند 0.0 °C، وكمية الحرارة اللازمة لتحويل 454 g من الماء عنـد 100 °C إلى بخار؟ وهل مقدار الفرق أكبر أم أقل من كمية الطاقة اللازمة لتسـخين 454 g من الماء عند 0.00 °C إلى 100.0 °C؟

إرشاد

تعلم من أخطائك

تكون الأخطـاء التي ترتكبها قبل الاختبار مفيدة؛ لأنها تبين المواضع التي تحتاج إلى تركيز أكبر. فعندما تحسـب كمية الحـرارة اللازمة لصهر مادة وتسـخينها تذكّر أن تحسب كمية الحرارة اللازمة لصهر المادة إضافة إلى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارتها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مصادر تعليمية للطالب

- دليل الرياضيات
- الجداول
- المصطلحات

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

دليل الرياضيات

I. الرموز symbols

Δ التغير في الكمية	$a \times b$ ، ab ، $a(b)$: a مضروبة في b
$\pm$ زائد أو ناقص الكمية	$a \div b$ ، a/b ، $\frac{a}{b}$: a مقسومة على b
$\propto$ يتناسب مع	$\sqrt{a}$ الجذر التربيعي لـ a
$=$ يساوي	$\lvert a \rvert$ القيمة المطلقة لـ a
$\approx$ تقريبًا يساوي	$\log_b x$ لوغاريتم x بالنسبة إلى الأساس b
$\cong$ تقريبًا يساوي	
$\leq$ أقل من أو يساوي	
$\geq$ أكبر من أو يساوي	
$<<$ أقل جدًّا من	
$\equiv$ يعرف كـ	

II. القياسات والأرقام المعنوية Measurement and Significant Digits

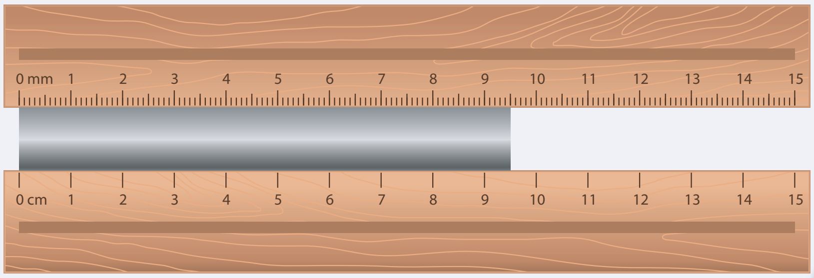
ارتباط الرياضيات مع الفيزياء تعتبر الرياضيات لغة الفيزياء؛ فباستعمال الرياضيات يستطيع الفيزيائيون وصف العلاقات بين مجموعة من القياسات عن طريق المعادلات. ويرتبط كل قياس مع رمز معين في المعادلات الفيزيائية، وتسمى هذه الرموز المتغيرات.

الأرقام المعنوية Significant Digits

إن جميع القياسات تقريبية وتُمثل بأرقام معنوية، بحيث يعبر عدد الأرقام المعنوية عن الدقة في القياس. وتعتبر الدقة مقياسًا للقيمة الحقيقية. ويعتمد عدد الأرقام المعنوية في القياس على الوحدة الأصغر في أداة القياس. ويكون الرقم الأبعد إلى اليمين في نتيجة القياس مقدَّرًا.

مثال: ما الرقم المقدَّر لكل من مسطرة قياس موضحة في الشكل أدناه والمستخدمة لقياس طول القضيب الفلزي؟ باستعمال أداة القياس السفلية نجد أن طول القضيب الفلزي بين 9 cm و 10 cm لذلك فإن القياس سوف يقدَّر إلى أقرب جزء عشري من السنتمتر. وإذا كان الطول المقيس يقع تمامًا عند 9 cm أو 10 cm فإنه يجب عليك تسجيل نتيجة القياس 9.0 cm أو 10.0 cm.

وعند استعمال أداة القياس العليا. فإن نتيجة القياس تقع بين 9.5 cm و 9.6 cm، لذلك فإن القياس سوف يقدر إلى أقرب جزء مئوي من السنتمتر، وإذا كان الطول المقيس يقع تمامًا عند 9.5 cm أو 9.6 cm، فيجب عليك تسجيل القياس 9.50 cm أو 9.60 cm



دليل الرياضيات

كل الأرقام غير الصفرية في القياسات أرقام معنوية. وبعض الأصفار أرقام معنوية، وبعضها ليست معنوية، وكل الأرقام من اليسار وحتى الرقم الأخير من اليمين والمتضمنة الرقم الأول غير الصفري تعتبر أرقامًا معنوية.

استعمل القواعد الآتية عند تحديد عدد الأرقام المعنوية:

1. الأرقام غير الصفرية أرقام معنوية.

2. الأصفار الأخيرة بعد الفاصلة العشرية أرقام معنوية.

3. الأصفار بين رقمين معنويين أرقام معنوية.

4. الأصفار التي تستعمل بهدف حجز منازل فقط هي أرقام ليست معنوية.

مثال: حدّد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

5.0 g يتضمن رقمين معنويين	استعمال القاعدتين 1و2
14.90 g يتضمن أربعة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و2
0.0 يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا	استعمال القاعدتين 2و4
300.00 mm يتضمن خمسة أرقام معنوية	استعمال القواعد 1و2و3
5.06 s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و3
304 s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و3
0.0060 mm يتضمن رقمين معنويين (6 والصفر الأخير)	استعمال القواعد 1و2و4
140 mm يتضمن رقمين معنويين (1و4 فقط)	استعمال القاعدتين 1و4

مسائل تدريبية

1. حدد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

a. 1405 m　　**d.** 12.007 kg

b. 2.50 km　　**e.** 5.8×10^{6} kg

c. 0.0034 m　　**f.** 3.03×10^{-5} ml

هناك حالتان تُعتبر الأعداد فيهما دقيقة:

1. الأرقام الحسابية، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًّا من الأرقام المعنوية.

2. معاملات التحويل، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًّا من الأرقام المعنوية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

دليل الرياضيات

التقريب Rounding

يمكن تقريب العدد إلى خانة (منزلة) معينة (مثل المنزلة المئوية أو العشرية) أو إلى عدد معين من الأرقام المعنوية. وحتى تقوم بذلك حدّد المنزلة المراد تقريبها، ثم استعمل القواعد الآتية:

1. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه أقل من 5، فإنه يتم إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثَم يبقى الرقم الأخير في العدد المقرّب دون تغيير.

2. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه أكبر من 5 فإنه يتم إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثم يزيد الرقم الأخير في العدد المقرّب بمقدار واحد.

3. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه هو 5 متبوعًا برقم غير صفري، فإنه يتم إسقاط ذلك الرقم والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثم يزيد الرقم الأخير في العدد المقرَّب بمقدار واحد.

4. إذا كان الرقم الواقع عن يمين الرقم المعنوي الأخير المراد التقريب إليه يساوي 5 ومتبوعًا بالصفر، أو لا يتبعه أي أرقام أخرى، فانظر إلى الرقم المعنوي الأخير، فإذا كان فرديًّا فزده بمقدار واحد، وإذا كان زوجيًّا فلا تزده.

أمثلة: قرّب الأرقام الآتية للعدد المعيّن إلى الأرقام المعنوية:

8.7645 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.76	استعمال القاعدة 1
8.7676 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.77	استعمال القاعدة 2
8.7519 تقريبه إلى رقمين معنويين ينتج 8.8	استعمال القاعدة 3
92.350 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.4	استعمال القاعدة 4
92.25 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.2	استعمال القاعدة 4

مسائل تدريبية

2. قرّب كل رقم إلى عدد الأرقام المعنوية المتضمنة بين الأقواس الآتية:

a. 1405 m (2)   **c.** 0.0034 m (1)

b. 2.50 km (2)   **d.** 12.007 kg (3)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية Operations with Significant Digits

عندما تستعمل الآلة الحاسبة نفّذ العمليات الحسابية بأكبر قدر من الدقة التي تسمح بها الآلة الحاسبة، ثم قرب النتيجة إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية. يعتمد عدد الأرقام المعنوية في النتيجة على القياسات وعلى العمليات التي تجريها.

الجمع والطرح Addition and subtraction

انظر إلى الأرقام عن يمين الفاصلة العشرية، وقرّب النتيجة إلى أصغر قيمة دقيقة بين القياسات، وهو العدد الأصغر من الأرقام الواقعة عن يمين الفاصلة العشرية.

مثال: اجمع الأعداد 1.456 m ، 4.1 m و 20.3 m

القيم الأقل دقة هي 4.1 m و 20.3 m؛ لأن كليهما يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا فقط يقع عن يمين الفاصلة العشرية.

اجمع الأعداد

$$\begin{array}{r} 1.456\ \text{m} \\ 4.1\ \ \ \ \text{m} \\ +20.3\ \ \ \ \text{m} \\ \hline 25.856\ \text{m} \end{array}$$

وفي النتيجة تكون دقة حاصل عملية الجمع هي دقة الرقم المُضاف الأقل دقة.

قرب النتيجة إلى القيمة الكبرى 25.9m

الضرب و القسمة Multiplication and division

حدد عدد الأرقام المعنوية في كل عملية قياس. ونفذ العملية الحسابية، ثم قرّب النتيجة بحيث يكون عدد الأرقام المعنوية فيها مساويًا لتلك الموجودة في قيمة القياس ذي الأرقام المعنوية الأقل.

مثال: أوجد حاصل ضرب الكميتين 20.1 m و 3.6 m

$$(20.1\ \text{m})(3.6\ \text{m}) = 72.36\ \text{m}^2$$

القيمة الصغرى الدقيقة هي 3.6 m التي تتضمن رقمين معنويين. وحاصل عملية الضرب يجب أن يتضمن فقط عدد الأرقام المعنوية في العدد ذي الأرقام المعنوية الأقل.

قرّب النتيجة إلى رقمين معنويين 72 m

مسائل تدريبية

3. بسّط التعابير الرياضية الآتية مستعملًا العدد الصحيح من الأرقام المعنوية:

a. 2.33 km + 3.4 km + 5.012 km

b. 45 g - 8.3 g

c. 3.40 cm × 7.125 cm

d. 54 m ÷ 6.5 s

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المجاميع Combination

عند إجراء الحسابات التي تتضمن عمليات الجمع والطرح والضرب والقسمة استعمل قاعدة عملية الضرب/عملية القسمة.

أمثلة:

$$d=19\text{ m} + (25.0\text{ m/s})(2.50\text{ s}) + \frac{1}{2}(-10.0\text{ m/s}^2)(2.50)^2$$

$$= 5.0 \times 10^1\text{ m}$$

المقدار 19 m يتضمن رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن النتيجة رقمين معنويين.

$$m\ (\text{الميل}) = \frac{70.0\text{ m} - 10.0\text{ m}}{29\text{ s} - 11\text{ s}}$$

$$= 3.3\text{ m/s}$$

29 s و 11 s يتضمن كل منهما رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن الإجابة رقمين معنويين فقط.

الحسابات المتعددة الخطوات Multistep Calculation

لا تُجرِ عملية تقريب الأرقام المعنوية خلال إجراء الحسابات المتعددة الخطوات. وبدلاً من ذلك قم بالتقريب إلى العدد المعقول من المنازل العشرية، بشرط ألا تفقد دقة إجابتك. وعندما تصل إلى الخطوة النهائية في الحل فعليك أن تقرّب الجواب إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية.

مثال:

$$F = \sqrt{(24\text{ N})^2 + (36\text{ N})^2}$$

$$\sqrt{576\text{ N}^2 + 1296\text{ N}^2}$$

لا تجر التقريب إلى $580N^2$ و $1300N^2$

$$= \sqrt{1872\text{ N}^2}$$

لا تجر التقريب إلى $1800N^2$

$$= 43\text{ N}$$

النتيجة النهائية، هنا يجب أن نقرّب إلى رقمين معنويين

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

III. الكسور والنسب والمعدلات والتناسب Fractions , Ratios , Rates , and Proportions

الكسور Fractions

يقصد بالكسر جزء من الكل أو جزء من مجموعة. ويعبّر الكسر أيضًا عن النسبة.

ويتكوّن الكسر من البسط وخط القسمة والمقام.

$$\frac{\text{البسط}}{\text{المقام}} = \frac{\text{عدد الأجزاء المختارة}}{\text{عدد الأجزاء الكليّ}}$$

التبسيط من السهل أحيانًا تبسيط التعبير الرياضي قبل عملية تعويض قيم المتغيرات المعلومة، وغالبًا تُختصر المتغيرات من التعبير الرياضي.

مثال: بسّط $\frac{pn}{pw}$

افصل المتغير p في البسط والمقام، وجزِّئ الكسر إلى حاصل ضرب كسرين. $\left(\frac{pn}{pw}\right) = \left(\frac{p}{p}\right)\left(\frac{n}{w}\right)$

بالتعويض عن $\left(\frac{p}{p}\right) = 1$ $= (1)\left(\frac{n}{w}\right)$

$$= \frac{n}{w}$$

عمليتا الضرب والقسمة لإجراء عملية ضرب الكسور اضرب القيم الممثلة للبسط، واضرب القيم الممثلة للمقام.

مثال: أوجد حاصل ضرب الكسر $\frac{s}{a}$ في الكسر $\frac{t}{b}$.

نفّذ عملية ضرب القيم في البسط والقيم في المقام $\left(\frac{s}{a}\right)\left(\frac{t}{b}\right) = \frac{st}{ab}$

ولإجراء عملية قسمة الكسور اضرب الكسر الأول في مقلوب الكسر الثاني. ولإيجاد مقلوب الكسر، اعكس الكسر بحيث يحل كل من البسط والمقام مكان الآخر.

مثال: أوجد عملية القسمة للكسر $\frac{s}{a}$ على الكسر $\frac{t}{b}$.

أوجد حاصل ضرب الكسر الأول في مقلوب الكسر الثاني. $\frac{s}{a} \div \frac{t}{b} = \left(\frac{s}{a}\right)\left(\frac{b}{t}\right)$

اضرب القيم في البسط والقيم في المقام. $= \frac{sb}{at}$

عمليتا الجمع والطرح لإجراء عملية جمع أو طرح كسرين اكتبهما أولاً في صورة كسرين لهما مقام مشترك، أي المقام نفسه. ولإيجاد المقام المشترك أوجد حاصل ضرب مقام كل من الكسرين، ثم اجمع بسطي كل منهما أو اطرحهما واستعمل بعد ذلك المقام المشترك.

مثال: أوجد حاصل جمع $\frac{1}{a}$ و $\frac{2}{b}$.

اضرب كلّ كسر في كسر يساوي 1. $\frac{1}{a} + \frac{2}{b} = \left(\frac{1}{a}\right)\left(\frac{b}{b}\right) + \left(\frac{2}{b}\right)\left(\frac{a}{a}\right)$

اضرب كلًّا من قيم البسط وكلًّا من قيم المقام. $= \frac{b}{ab} + \frac{2a}{ab}$

اكتب كسرًا مفردًا مقامه المقام المشترك. $= \frac{b+2a}{ab}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسائل تدريبية

4. نفّذ العمليات الآتية، ثم اكتب الإجابة في أبسط صورة.

a. $\frac{y}{3} + \frac{1}{x}$ **c.** $\left(\frac{1}{y}\right)\left(\frac{3}{x}\right)$

b. $\frac{3}{b} - \frac{a}{2b}$ **d.** $\frac{1}{2} \div \frac{2a}{5}$

النسب Ratios

تمثل النسب عملية مقارنة بين عددين باستعمال عملية القسمة. ويمكن كتابة النسب بعدة طرائق مختلفة، فالنسبة للعددين 2، 3 يمكن كتابتها بأربع طرائق مختلفة: 2 إلى 3 أو 2 على 3 أو 2:3 أو $\frac{2}{3}$

المعدّلات Rates

المعدل نسبة تقارن بين كميتين لهما وحدات قياس مختلفة. إن معدل الوحدة هو المعدل الذي يمكن تبسيطه بحيث يساوي المقام الرقم 1.

مثال: اكتب 98km في 2.0 ساعة كمعدل وحدة.

$98km$ في 2.0 ساعة عبارة عن النسبة $\frac{98km}{2.0h}$

جزِّئ الكسر إلى حاصل ضرب الكسر العددي بكسر الوحدات $\frac{98km}{2.0h} = \left(\frac{98}{2.0}\right)\left(\frac{km}{h}\right)$

بسّط الكسر العددي $= (49)\left(\frac{km}{h}\right)$

$= 49$ km per h أو km/h

التناسبات Proportions التناسب عبارة عن معادلة تنص على أن النسبتين متساويتان: $\frac{a}{d} = \frac{c}{b}$، بشرط أن b، d لا تساويان صفر.

تستعمل التناسبات لحل مسائل النسبة التي تتضمن ثلاثة أرقام ومتغيرًا واحدًا. ويمكنك حل علاقة التناسب لإيجاد قيمة المتغير. ولحل التناسب استعمل الضرب التبادلي.

مثال: حل التناسب $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$ بالنسبة للمتغير a.

إجراء عملية الضرب التبادلي للتناسب $\frac{c}{d} = \frac{a}{b}$

اكتب المعادلة الناتجة من الضرب التبادلي $ad = bc$

حل المعادلة بالنسبة للمتغير a $a = \frac{bc}{d}$

مسائل تدريبية

5. حل التناسبات الآتية:

a. $\frac{2}{3} = \frac{4}{x}$ **c.** $\frac{s}{16} = \frac{36}{12}$

b. $\frac{n}{75} = \frac{13}{15}$ **d.** $\frac{7.5}{w} = \frac{2.5}{5.0}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

IV. الأسس والقوى والجذور والقيمة المطلقة Exponents , Powers , Roots , and Absolute value

الأسس Exponents

الأس عبارة عن عدد يخبرك بعدد المرات التي استعمل فيها الأساس a كعامل، ويكتب الأس على صيغة رمز علوي، ففي الحد a^n، يمثل الرمز a الأساس ويمثل الرمز n الأس.

ويسمى المقدار a^n القوة النونية للرقم a أو أن الرقم a مرفوع للقوة n.

الأس

$$a^n$$

الأساس

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن الرمز السفلي لا يمثل الأس، وفي الفيزياء يمثل الرمز السفلي تعبيرًا آخر للمتغير. فمثلا v_0 يمكن أن تستعمل لتعبر عن السرعة عند الزمن 0، ولذلك فإن الرمز السفلي يعتبر جزءًا من المتغير.

الأس الموجب لأي رقم غير صفري a ، ولأي عدد صحيح n ،

$$a^n = (a_1)(a_2)(a_3)\ldots(a_n)$$

مثال: بسّط الحدود الأسية الآتية:

$$10^4 = (10)\,(10)\,(10)\,(10) = 10{,}000$$

$$2^3 = (2)\,(2)\,(2) = 8$$

الأس الصفري لأي رقم a غير صفري،

$$a^0 = 1$$

مثال: بسّط الحدود الأسية الصفرية الآتية:

$$2^0 = 1$$

$$13^0 = 1$$

الأس السالب لأي رقم a غير صفري، ولأي عدد صحيح n ،

$$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$$

مثال: اكتب الحدود الأسية السالبة الآتية في صورة كسور.

$$2^{-1} = \frac{1}{2^1} = \frac{1}{2} \qquad 2^{-2} = \frac{1}{2^2} = \frac{1}{4}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الجذور التربيعية والجذور التكعيبية Square and Cube Roots

الجذر التربيعي للرقم يساوي أحد معامليه الاثنين المتساويين. ويعبّر الرمز الجذري $\sqrt{\ }$ ، عن الجذر التربيعي. ويمكن أن يُعبّر عن الجذر التربيعي بالأس $\frac{1}{2}$ كما في $\sqrt{b} = b^{\frac{1}{2}}$. ويمكنك استعمال الآلة الحاسبة لإيجاد قيمة الجذور التربيعية.

أمثلة: بسّط حدود الجذور التربيعية الآتية:

$\sqrt{a^2} = \sqrt{(a)\,(a)} = a$

$\sqrt{9} = \sqrt{(3)\,(3)} = 3$

$\sqrt{64} = \sqrt{(8.0)\,(8.0)} = 8.0$ تتضمن الإجابة صفرًا عن يمين الفاصلة العشرية وذلك للإبقاء على رقمين معنويين.

$\sqrt{38.44} = 6.200$ ضع صفرين عن يمين إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على أربعة أرقام معنوية.

$\sqrt{39} = 6.244997 = 6.2$ قرّب إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على رقمين معنويين.

إن الجذر التكعيبي للرقم يمثل أحد معاملاته الثلاثة المتساوية. ويعبر الرمز الجذري $\sqrt[3]{\ }$ أي استعمال الرقم 3، عن الجذر التكعيبي. كما يمكن تمثيل الجذر التكعيبي أيضًا في صورة أس $\frac{1}{3}$ كما في $\sqrt[3]{b} = b^{\frac{1}{3}}$.

مثال: بسّط حدود الجذر التكعيبي الآتية:

$\sqrt[3]{125} = \sqrt[3]{(5.00)(5.00)(5.00)} = 5.00$

$\sqrt[3]{39.304} = 3.4000$

مسائل تدريبية

6. أوجد ناتج كل جذر، ومن ثم قرّب الإجابة إلى أقرب مئة.

a. $\sqrt{22}$ **c.** $\sqrt{676}$

b. $\sqrt[3]{729}$ **d.** $\sqrt[3]{46.656}$

7. بسّط الجذور الآتية من دون استعمال الرمز الجذري:

a. $\sqrt{16a^2b^4}$ **b.** $\sqrt{9t^6}$

8. اكتب الجذور الآتية على الصورة الأسية:

a. $\sqrt{n^3}$ **b.** $\frac{1}{\sqrt{a}}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

دليل الرياضيات

إجراء العمليات باستخدام الأسس Operations With Exponents

لإجراء العمليات الآتية باستخدام الأسس فإن كلًّا من a ، b يمكن أن يكونا أرقامًا أو متغيرات.

ضرب القوى: لإجراء عملية ضرب حدود لها الأساس نفسه اجمع الأسس، كما هو موضح في الصيغة الآتية:

$(a^m)(a^n) = a^{m+n}$

قسمة القوى: لإجراء عملية قسمة حدود لها الأساس نفسه اطرح الأسس، كما هو موضح في الصيغة الآتية:

$a^m / a^n = a^{m-n}$

القوة مرفوعة لقوة: لايجاد ناتج قوة مرفوعة لقوة، استخدم الأساس نفسه واضرب الأسس في بعضها، كما هو موضح في الصفحة الآتية: $(a^m)^n = a^{mn}$

الجذر مرفوعة لقوة: لإيجاد ناتج جذر مرفوع لقوة استخدم الأساس نفسه وقسّم أس القوة على أس الجذر، كما هو موضح في الصيغة الآتية: $\sqrt[n]{a^m} = a^{m/n}$

القوة لحاصل الضرب: لإيجاد القوة لحاصل الضرب a و b ، ارفع كليهما للقوة نفسها، ثم أوجد حاصل ضربهما معًا، كما في $(ab)^n = a^n b^n$

مسائل تدريبية

9. اكتب الصيغة المكافئة مستعملاً خصائص الأسس.

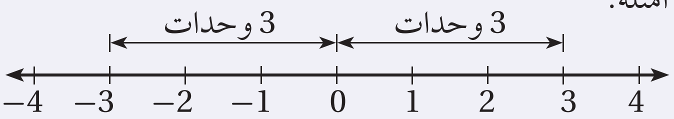
a. $x^2 t / x^3$ **b.** $\sqrt{t^3}$ **c.** $(d^2n)^2$ **d.** $x^2\sqrt{x}$

10. بسّط $\frac{m}{q}\sqrt{\frac{2qv}{m}}$

القيمة المطلقة Absolute Value

إن القيمة المطلقة للرقم n عبارة عن قيمته بغض النظر عن إشارته. وتكتب القيمة المطلقة للرقم n على صورة |n|، ولأن المقادير لا تكون أقل من الصفر فإن القيم المطلقة دائمًا أكبر من صفر أو تساوي صفرًا.

أمثلة:

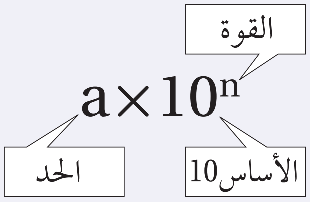


$|3| = 3$

$|-3| = 3$

V. الدلالة العلمية Scientific Notation

إن الرقم على الصيغة $a \times 10^n$ مكتوب بدلالته العلمية، حيث $1 \le a \le 10$، والرقم n عدد صحيح. الأساس 10 مرفوع للقوة n والحد a يجب أن يكون أقل من 10.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يستعمل الفيزيائيون الدلالة العلمية مع القياسات التي تزيد على 10 أو الأقل من 1 للتعبير عنها، والمقارنة بينها، وحسابها. فمثلاً تكتب كتلة البروتون على صورة 6.73×10^{-28} kg، وتكتب كثافة الماء على الصورة 1.000×10^{3} kg/m³ وهذا يوضح استعمال قواعد الأرقام المعنوية، حيث يساوي هذا القياس 1000 تمامًا، وذلك لأربعة أرقام معنوية. ولذلك فعند كتابة كثافة الماء على الصورة 1000 kg/m³ سوف يشير ذلك إلى أن الرقم يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا، وهذا غير صحيح. لقد ساعدت الدلالة العلمية الفيزيائيين على الحفاظ على المسار الدقيق للأرقام المعنوية.

الأرقام الكبيرة، واستخدام الأسس الموجبة Large Numbers – Using Positive Exponents

إن عملية الضرب للقوة 10 تشبه تمامًا عملية تحريك النقطة العشرية لنفس عدد المنازل إلى يسار العدد (إذا كانت القوة سالبة) أو إلى اليمين (إذا كانت القوة موجبة). وللتعبير عن الرقم الكبير في الدلالة العلمية حدد أولاً قيمة الحد a، $1 \leq a < 10$، ثم عد المنازل العشرية من النقطة العشرية في الحد a لغاية النقطة العشرية في العدد. ثم استعمل العدد كقوة للرقم 10. وتبين الآلة الحاسبة الدلالة العلمية باستعمال e للأسس كما في $2.4\ e{+}11 = 2.4\times10^{11}$ وبعض الآلات الحاسبة تستخدم E لتبيان الأس أو يوجد غالبًا على الشاشة موضع مخصص،حيث تظهر أرقام ذات أحجام صغيرة نسبيا لتمثل الأسس في الآلة الحاسبة، وفي بعض الآلات تستخدم ×10 لهذه العملية.

مثال: اكتب 7,530,000 بدلالته العلمية.

إن قيمة a هي 7.53 (النقطة العشرية عن يمين أول رقم غير صفري)، لذلك سيكون الشكل في صورة 7.53×10^{n}.

هناك ستة منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 6 $\qquad 7{,}530{,}000 = 7.53\times10^{6}$

لكتابة الصورة القياسية للرقم المعبَّر عنه بدلالته العلمية اكتب قيمة a، وضع أصفارًا إضافية عن يمين الرقم. استعمل القوة وحرّك النقطة العشرية للرقم a عدة منازل إلى اليمين.

مثال: اكتب الرقم الآتي في صورته القياسية

$$2.389\times10^{5} = 2.38900\times10^{5} = 238{,}900$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الأرقام الصغيرة، واستخدام الأسس السالبة Small Numbers–Using Negative Exponents

للتعبير عن الأرقام الصغيرة بدلالتها العلمية حدد أولاً قيمة a ، $1 \le a < 10$ ، ثم احسب عدد المنازل العشرية مبتدئًا من النقطة العشرية للرقم a حتى النقطة العشرية في الرقم.

استعمل ذلك العدد قوةً للأساس 10 . إن عملية ضرب الرقم في قوة سالبة مماثل تمامًا لعملية القسمة على ذلك الرقم مع القوة الموجبة المرافقة.

مثال: اكتب 0.000000285 بدلالته العلمية

إن قيمة a هي 2.85 (النقطة العشرية تقع عن يمين الرقم الأول غير الصفري) لذلك فإن الشكل سيكون في صورة 2.85×10^{n}.

توجد سبعة منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 7 – $0.000000285 = 2.85\times10^{-7}$

وللتعبير عن الأرقام الصغيرة بصورتها القياسية، اكتب قيمة الرقم a، وقم بإضافة أصفار إضافية عن يسار الرقم a. استعمل القوة وحرّك النقطة العشرية في a عدة منازل إلى اليسار.

مثال: $1.6 \times 10^{-4} = 00001.6 \times 10^{-4} = 0.00016$

مسائل تدريبية

11. عبّر عن كل رقم بدلالته العلمية:

a. 456,000,000 **b.** 0.000020

12. عبّر عن كل رقم بصورته القياسية.

a. 3.03×10^{-7} **b.** 9.7×10^{10}

إجراء العمليات الرياضية بدلالتها العلمية Operations with Scientific Notation

لإجراء العمليات الرياضية للأرقام المعبّر عنها بتعبيراتها العلمية نستخدم خصائص الأسس.

عملية الضرب أوجد حاصل عملية ضرب الحدود، ثم اجمع القوى للأساس 10.

جمّع الحدود والأرقام ذات الأساس 10: $(4.0\times10^{-8})\,(1.2\times10^{5}) = (4.0\times1.2)\,(10^{-8}\times10^{5})$

أوجد حاصل ضرب الحدود: $= (4.8)\,(10^{-8+5})$

اجمع القوى للأساس 10: $= (4.8)\,(10^{-3})$

أعد صياغة النتيجة بدلالتها العلمية: $= 4.8\times10^{-3}$

عملية القسمة قم بإجراء عملية قسمة الأرقام الممثلة للقواعد، ثم اطرح أسس الأساس 10.

مثال: بسّط

جمّع الحدود والأرقام ذات الأساس 10: $\frac{9.60\times10^{7}}{1.60\times10^{3}} = \left(\frac{9.60}{1.60}\right)\times\left(\frac{10^{7}}{10^{3}}\right)$

قسّم الحدود واطرح القوس للأساس 10: $= 6.00 \times 10^{7-3}$

$= 6.00 \times 10^{4}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

عمليتا الجمع والطرح إن إجراء عملية الجمع وعملية الطرح للأرقام بتعبيراتها العلمية هي عملية تحدٍّ أكبر؛ لأن قوى الأساس 10 يجب أن تكون متماثلة لكي تستطيع جمع أو طرح الأرقام. وهذا يعني أن أحد تلك الأرقام يمكن أن يحتاج إلى إعادة كتابته بدلالة قوة مختلفة للأساس 10، بينما إذا كانت القوى للأساس 10 متساوية فاستعمل الخاصية التوزيعية للأعداد.

مثال: بسّط

جمّع الحدود $(3.2\times10^5) + (4.8\times10^5) = (3.2+4.8)\times10^5$

اجمع الحدود $= 8.0\times10^5$

مثال: بسّط

أعد كتابة 4.8×10^4 على صورة 0.48×10^5 $(3.2\times10^5) + (4.8\times10^4) = (3.2\times10^5)+(0.48\times10^5)$

جمّع الحدود $= (3.2+0.48)\times10^5$

اجمع الحدود $= 3.68\times10^5$

قرّب النتيجة مستعملًا قاعدة الجمع / الطرح للأرقام المعنوية. $= 3.7\times10^5$

مسائل تدريبية

13. احسب نتيجة كل من التعابير الآتية، وعبّر عن النتيجة بدلالتها العلمية.

a. $(5.2\times10^{-4})\ (4.0\times10^8)$ **b.** $(2.4\times10^3) + (8.0\times10^4)$

VI. المعادلات Equations

ترتيب العمليات Order of Operations

اتفق العلماء والرياضيون على مجموعة من الخطوات أو القواعد، تسمى ترتيب العمليات، لذلك يفسّر كل شخص الرموز الرياضية بالطريقة نفسها. اتّبع هذه الخطوات بالترتيب عندما تريد تقدير نتيجة تعبير رياضي أو عند استخدام صيغة رياضية معينة.

1. بسّط التعابير الرياضية داخل الرموز التجميعية، مثل القوسين ( )، والقوسين المعقوفين [ ]، والأقواس المزدوجة « »، وأعمدة الكسر.

2. قدّر قيمة جميع القوى والجذور.

3. نفّذ جميع عمليات الضرب و / أو جميع عمليات القسمة من اليسار إلى اليمين.

4. نفّذ جميع عمليات الجمع و / أو جميع عمليات الطرح من اليسار إلى اليمين.

***مثال:* بسّط التعبير الآتي:**

ترتيب العمليات: الخطوة 1 $4+3(4-1)-2^3 = 4+3(3)-2^3$

ترتيب العمليات: الخطوة 2 $=4+3(3)-8$

ترتيب العمليات: الخطوة 3 $=4+9-8$

ترتيب العمليات: الخطوة 4 $=5$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يوضح المثال السابق تنفيذ عملية ترتيب العمليات خطوة بخطوة. فعند حل المسائل الفيزيائية لا تجري عملية التقريب للرقم الصحيح للأرقام المعنوية إلا بعد حساب النتيجة النهائية. في حالة الحسابات التي تتضمن تعابير رياضية في البسط وتعابير رياضية في المقام عليك معاملة كل من البسط والمقام بوصفهما مجموعتين منفصلتين، ثم جد نتيجة كل مجموعة قبل أن تجري عملية قسمة البسط على المقام، لذلك فإن قاعدة الضرب / القسمة تستخدم لحساب الرقم النهائي للأرقام المعنوية.

حل المعادلات Solving Equations

إن حل المعادلة يعني إيجاد قيمة المتغير الذي يجعل المعادلة تعبيرًا رياضيًّا صحيحًا. وعند حل المعادلات طبّق خاصية التوزيع وخصائص التكافؤ، وإذا طبقت أيًّا من خصائص المتكافئات في أحد طرفي المعادلة وجب أن تطبق الخصائص نفسها في الطرف الآخر.

الخاصية التوزيعية لأي من الأعداد a ، b ، c يكون:

$a(b+c) = ab+ac$ $\qquad$ $a(b-c) = ab-ac$

مثال: استعمل الخاصية التوزيعية لتفكيك التعبير الآتي:

$$3(x+2) = 3x + (3)(2)$$
$$= 3x + 6$$

خاصيتا الجمع والطرح للمتكافئات إذا تساوت كميتان وأضيف العدد نفسه أو طرح العدد نفسه من كليهما، فإن الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

مثال: حل المعادلة $x - 3 = 7$ مستعملًا خاصية الجمع

$$x-3 = 7$$
$$x-3+3 = 7+3$$
$$x=10$$

مثال: حل المعادلة $t + 2 = -5$ مستعملًا خاصية الطرح

$$t+2=-5$$
$$t+2-2=-5-2$$
$$t=-7$$

خاصيتا الضرب والقسمة للمتكافئات إذا ضربت أو قسمت كميتين متساويتين في/ على العدد نفسه، فستكون الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

$$ac = bc$$
$$\frac{a}{c} = \frac{b}{c}, \text{ for } c \neq 0$$

مثال: حل المعادلة $\frac{1}{4}a = 3$ مستعملًا خاصية الضرب

$$\frac{1}{4}a = 3$$
$$(\frac{1}{4}a)(4) = 3(4)$$
$$a = 12$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مثال: حل المعادلة $6n = 18$ مستخدمًا خاصية القسمة

$$6n = 18$$
$$\frac{6n}{6} = \frac{18}{6}$$
$$n = 3$$

مثال: حل المعادلة $2t + 8 = 5t - 4$ بالنسبة للمتغير t

$$2t + 8 = 5t - 4$$
$$8 + 4 = 5t - 2t$$
$$12 = 3t$$
$$4 = t$$

فصل المتغير Isolating aVariable

افترض معادلة تتضمن أكثر من متغير، لفصل المتغير – أيْ لحل المعادلة بالنسبة لذلك المتغير – اكتب معادلة ارتباط مكافئة بحيث يتضمن أحد طرفيها المتغير فقط بمعامل يساوي 1.

ارتباط الرياضيات في الفيزياء افصل المتغير P (الضغط) في معادلة قانون الغاز المثالي.

$$PV = nRT$$

قسّم طرفي المعادلة على V
$$\frac{PV}{V} = \frac{nRT}{V}$$

جمّع $\left(\frac{V}{V}\right)$
$$P\left(\frac{V}{V}\right) = \frac{nRT}{V}$$

بالتعويض عن $\frac{V}{V} = 1$
$$P = \frac{nRT}{V}$$

مسائل تدريبية

14. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x.

a. $2 + 3x = 17$

b. $x - 4 = 2 - 3x$

c. $t - 1 = \frac{x+4}{3}$

d. $a = \frac{b+x}{c}$

e. $6 = \frac{2x+3}{x}$

f. $ax + bx + c = d$

خاصية الجذر التربيعي Square Root Property

إذا كان كل من a ، n أعدادًا حقيقية، $n > 0$ و $a^2 = n$ ، فإن $a = \pm\sqrt{n}$.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء حل المعادلة بالنسبة للمتغير v في القانون الثاني لنيوتن لقمر يدور حول الأرض.

$$\frac{mv^2}{r}=\frac{Gm_Em}{r^2}$$

اضرب طرفي المعادلة كليهما في المتغير r

$$\frac{mv^2}{r}=\frac{rGm_Em}{r^2}$$

بالتعويض عن $\frac{r}{r}=1$

$$mv^2=\frac{Gm_Em}{r}$$

قسّم طرفي المعادلة على m .

$$\frac{mv^2}{m}=\frac{Gm_Em}{rm}$$

بالتعويض عن $\frac{m}{m}=1$

$$v^2=\frac{Gm_E}{r}$$

ضع الجذر التربيعي على طرفي المعادلة

$$\sqrt{v^2}=\pm\sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

استعمل القيمة الموجبة للسرعة.

$$v=\sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

عندما تستعمل خاصية الجذر التربيعي من المهم الانتباه للمتغير الذي ستقوم بحل المعادلة بالنسبة له. لأننا قمنا بحل المعادلة السابقة بالنسبة للسرعة v، لذلك لم يكن من المنطق أن نستعمل القيمة السالبة للجذر التربيعي، وأنت بحاجة أيضًا للأخذ بعين الاعتبار ما إذا كانت القيمة السالبة أو الموجبة ستعطيك الحل الصحيح، فمثلاً عندما تستعمل خاصية الجذر التربيعي لحل المعادلة بالنسبة للمتغير t فإن القيمة السالبة تشير إلى الفترة الزمنية قبل بدء الحالة التي تدرسها.

المعادلات التربيعية Quadratic Equations

التعبير العام للمعادلة التربيعية $ax^2+bx+c=0$ ، حيث $a\neq 0$، وتتضمن المعادلة التربيعية متغيرًا واحدًا مرفوعًا للقوة (الأس) 2 بالإضافة إلى المتغير نفسه مرفوعًا للأس 1 . كما يمكن تقدير حلول المعادلة التربيعية بوساطة التمثيل البياني باستعمال الآلة الحاسبة الراسمة بيانيًا. إذا كانت $b=0$ فإن الحد x غير موجود في المعادلة التربيعية. ويمكن حل المعادلة بفصل المتغير المربع، ثم إيجاد الجذر التربيعي لكل من طرفي المعادلة باستخدام خاصية الجذر التربيعي.

الصيغة التربيعية Quadratic Formula

إن حلول أي معادلة تربيعية يمكن إيجادها باستعمال الصيغة التربيعية، لذلك فإن حلول المعادلة $ax^2+bx+c=0$، حيث $a\neq 0$، تعطى من خلال المعادلة الآتية:

$$x=\frac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$$

وكما في حالة خاصية الجذر التربيعي، من المهم الأخذ بعين الاعتبار ما إذا كانت حلول الصيغة التربيعية تعطيك الحل الصحيح للمسألة التي بصدد حلّها. فعادةً يُمكنك إهمال أحد الحلول لكونه حلاً غير حقيقي. تتطلب حركة المقذوف غالبًا استعمال الصيغة التربيعية عند حل المعادلة، لذلك حافظ على واقعية الحل في ذهنك عند حل المعادلة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

دليل الرياضيات

مسائل تدريبية

15. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x.

a. $4x^2 - 19 = 17$

b. $12 - 3x^2 = -9$

c. $x^2 - 2x - 24 = 0$

d. $24x^2 - 14x - 6 = 0$

حسابات الوحدات Dimensional Calculations

عند إجراء الحسابات عليك أن ترفق وحدة كل قياس مكتوبة في الحسابات، وجميع العمليات التي تتم في صورة أعداد تُجرى أيضًا مرفقة بوحداتها.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن معادلة تسارع الجاذبية الأرضية a يعطى من خلال المعادلة $a = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$. فإذا سقط جسم سقوطًا حرًّا على القمر مسافة 20.5 m خلال 5.00 s . أوجد التسارع a على سطح القمر.

يقاس التسارع بوحدة m/s^2.

$$a = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$$

$$a = \frac{2(20.5\ m)}{(5.00\ s)^2}$$

العدد 2 عدد دقيق، لذلك لن يؤثر في حساب الأرقام المعنوية

$$a = \frac{1.64\ m}{s^2}$$ مثل

احسب وقرّب حتى ثلاثة أرقام معنوية

أو مثل $a = 1.64\ m/s^2$

تحويل الوحدة استعمل معامل التحويل للتحويل من وحدة قياس إلى وحدة قياس أخرى من النوع نفسه، من وحدة الدقائق مثلاً إلى وحدة الثواني، وهذا يكافئ عملية الضرب في العدد 1 .

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء جد Δx عندما $v_0 = 67\ m/s$ و $\Delta t = 5.0\ min$. استخدم المعادلة $\Delta x = v_0 \Delta t$

$$\frac{60\ s}{1\ min} = 1$$

$$\Delta x = v_0 \Delta t$$

$$\Delta x = \frac{67\ m}{s} \left(\frac{5.0\ min}{1}\right)\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)$$

اضرب في معامل التحويل $\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)$

$$\Delta x = 20100\ m = 2.0\times10^4\ m$$

احسب ثم قرّب إلى رقمين معنويين. إن العددين 60 s و 1 min مضبوطين ودقيقين، لذلك لن يؤثرا في

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

حساب الأرقام المعنوية.

مسائل تدريبية

16. بسّط المعادلة $\Delta t = \frac{4.0\times 10^2\ m}{16\ m/s}$

17. احسب السرعة المتجهة لقطعة قرميد ساقطة بعد مضي 5.0 s ، استعمل $a = -9.80\ m/s^2$ و $v = a\Delta t$.

18. أوجد حاصل ضرب الحدود: $\left(\frac{1\ m}{100\ cm}\right)\left(\frac{60\ min}{1h}\right)\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)\left(\frac{32\ cm}{1s}\right)$

19. في سجلّ الألعاب الأولمبية تم قطع المسافة 100.00 m خلال 9.87 s. ما السرعة بوحدة الكيلومترات لكل ساعة؟

تحليل الوحدات Dimensional Analysis

يعتبر تحليل الوحدات طريقة لتنفيذ العمليات الجبرية باستعمال الوحدات، وغالبًا ما يستعمل لاختبار صحة وحدات النتيجة النهائية وصحة المعادلة المستعملة، من دون إعادة تنفيذ الحسابات بصورة كاملة.

مثال فيزيائي تحقق من أن الإجابة النهائية للمعادلة $d_f = d_i + v_i t + \frac{1}{2}at^2$ وحدتها m

d_i تقاس بوحدة m

t تقاس بوحدة s

v_i تقاس بوحدة m/s

a تقاس بوحدة m/s^2

بالتعويض عن وحدات كل متغير $d_f = m + (\frac{m}{s})(s) + \frac{1}{2}(\frac{m}{s^2})(s)^2$

بسّط الكسور مستعملًا الخاصية التوزيعية $= m + (m)(\frac{s}{s}) + \frac{1}{2}(m)(\frac{s^2}{s^2})$

بالتعويض عن $s/s = 1$، $s^2/s^2 = 1$ $= m + (m)(1) + \frac{1}{2}(m)(1)$

جميع الحدود أعطت الوحدة m لذلك فإن d_f بوحدة m $= m + m + \frac{1}{2}m$

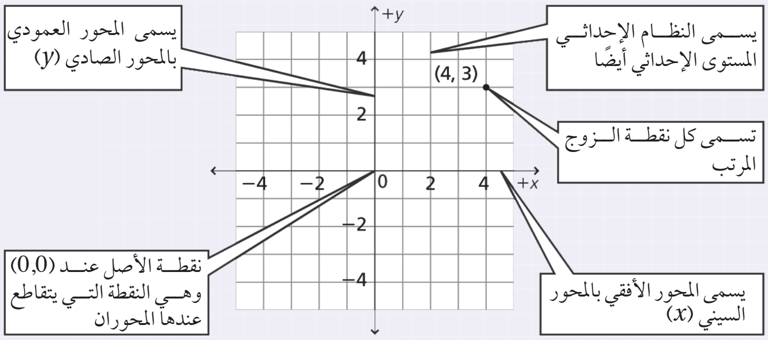
لا يطبّق المعامل $\frac{1}{2}$ في المعادلة أعلاه بالنسبة للوحدات، ويطبّق فقط لأي من القيم العددية التي يتم تعويضها بدلاً من المتغيرات لحل المعادلة. ومن السهل إزالة المعاملات الرقمية مثل الرقم $\frac{1}{2}$ عندما تبدأ بإجراء تحليل الوحدات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

VII. التمثيل البياني للعلاقات Graphs of Relations

المستوى الإحداثي (الديكارتي) The Coordinate Plane

تعين النقاط بالنسبة إلى خطين مدرّجين متعامدين يطلق على كل منهما اسم المحور، و يسمى خط الأعداد الأفقي المحور السيني (x). أما خط الأعداد العمودي فيسمى المحور الصادي (y). ويمثل المحور السيني عادة المتغير المستقل، فيما يمثل المحور العمودي المتغير التابع، بحيث تُمثّل النقطة بإحداثيين (x،y) يسميان أيضًا الزوج المرتب. وتَرد دائماً قيمة المتغير التابع (x) أولًا في الزوج المرتب الذي يمثل (0,0) نقطة الأصل، وهي النقطة التي يتقاطع عندها المحوران.



استعمال التمثيل البياني لتحديد العلاقة الرياضية Grahping Data to Determine Relationships

استعمل الخطوات الآتية لعمل رسوم بيانية:

1. ارسم محورين متعامدين.

2. حدّد المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة، وعيّن محور كل منهما مستعملاً أسماء المتغيرات.

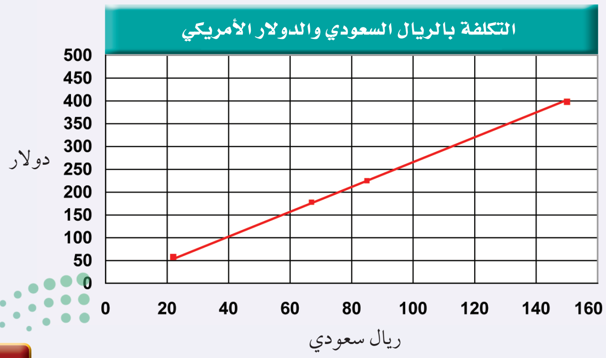
3. عيّن مدى البيانات لكل متغير، لتحديد المقياس المناسب لكل محور، ثم حدّد ورقِّم المقاييس.

4. عيّن كل نقطة بيانيًا.

5. عندما تبدو لك البيانات واقعة على خط مستقيم واحد ارسم الخط الأكثر ملاءمة خلال مجموعة النقاط. وعندما لا تقع النقاط على خط واحد ارسم منحنى بيانيًا بسيطًا، بحيث يمر بأكبر عدد ممكن من النقاط. وعندما لا يبدو هناك أي ميل لاتجاه معين فلا ترسم خطًّا أو منحنًى.

6. اكتب عنوانًا يصف بوضوح ماذا يمثل الرسم البياني.

نوع الخدمة	ريال	دولار
الفندق (الإقامة)	1500	398
الوجبات	850	225
الترفيه	670	178
المواصلات	220	58

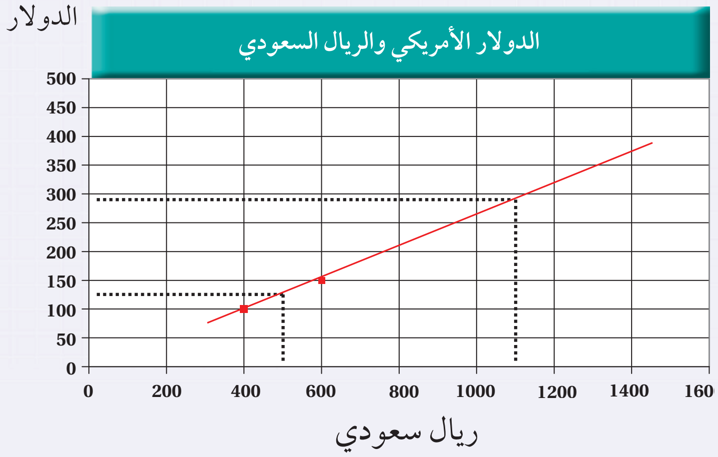


الاستيفاء والاستقراء Interpolating and Extrapolating

تستعمل طريقة الاستيفاء في تقدير قيمة تقع بين قيمتين معلومتين على الخط الممثل لعلاقة ما، في حين أن عملية تقدير قيمة تقع خارج مدى القيم المعلومة تسمى الاستقراء. إن معادلة الخط الممثل لعلاقة ما تساعدك في عمليتي الاستيفاء والاستقراء.

مثال: مستعينًا بالرسم البياني استعمل طريقة الاستيفاء لتقدير القيمة (السّعْر) المقابلة لـ 500 ريال.

حدد نقطتين على كل من جانبي القيمة 500 (400 ريال، 600 ريال)، ثم ارسم خطًّا مستمرًّا يصل بينهما.



ارسم الآن خطًّا متقطعًا عموديًّا من النقطة (500 ريال) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المرسوم، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا يصل إلى المحور الرأسي. سوف تجد أنه يتقاطع معه عند القيمة 131 أو 132 دولارًا.

مثال: استعمل الاستقراء لتحديد القيمة المقابلة لـ 1100 ريال.

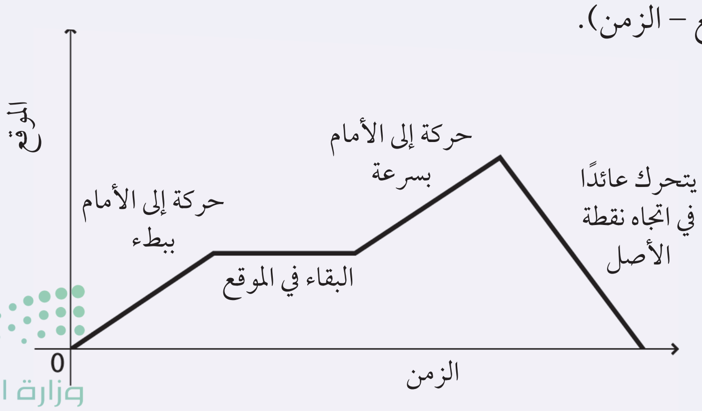
ارسم خطًّا متقطعًا من النقطة (1100 ريال) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المستمر الذي رسمته في المثال السابق، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا. ستجد أنه يتقاطع مع المحور الرأسي عند النقطة 290 دولارًا.

تفسير الرسم البياني الخطي Interpreting Line Graph

يوضح الرسم البياني الخطي العلاقة الخطية بين متغيرين. وهناك نوعان من الرسوم البيانية الخطية التي تصف الحركة تستخدم عادة في الفيزياء.

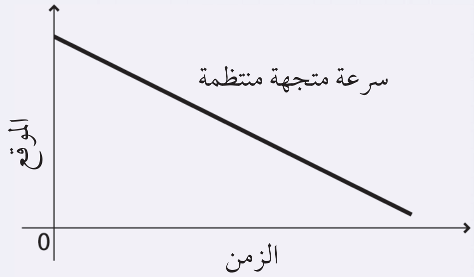
ارتباط الرياضيات مع الفيزياء

a. يوضح الرسم البياني علاقة خطية متغيرة بين (الموقع – الزمن).



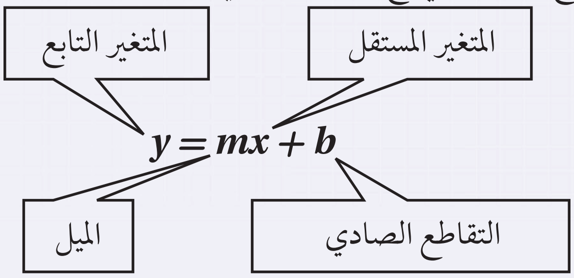
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

b. يوضح الخط البياني علاقة خطية ثابتة بين متغيرين (الموقع – الزمن)



Linear Equation المعادلة الخطية

يمكن كتابة المعادلة الخطية بالشكل: $y = mx + b$، حيث m ، b أعداد حقيقية، و(m) يمثل ميل الخط، و(b) يمثل التقاطع الصادي؛ وهي نقطة تقاطع الخط البياني مع المحور الصادي.



تمثل المعادلة الخطية بخط مستقيم، ولتمثيلها بيانيًّا قم باختيار ثلاث قيم للمتغير المستقل (يلزم نقطتان فقط، والنقطة الثالثة تستخدم لإجراء اختبار). احسب القيم المقابلة للمتغير التابع، ثم عيّن زوجين مرتبين (x,y)، وارسم أفضل خط يمر بجميع النقاط.

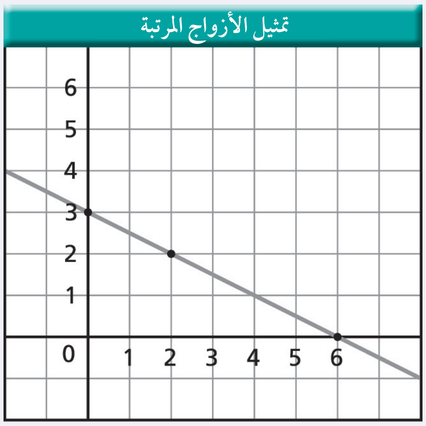
مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة

$$y = -\left(\frac{1}{2}\right) x + 3$$

احسب ثلاثة أزواج مرتبة للحصول على نقاط لتعيينها.

الأزواج المرتبة

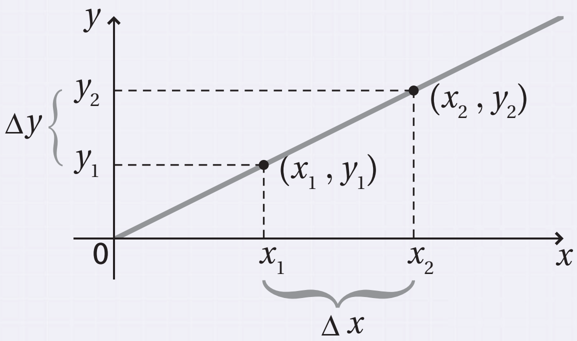
x	y
0	3
2	2
6	0



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الميل Slope

ميل الخط هو النسبة بين التغير في الإحداثيات الصادية، والتغير في الإحداثيات السينية، أو النسبة بين التغير العمودي (المقابل) والتغير الأفقي (المجاور). وهذا الرقم يخبرك بكيفية انحدار الخط البياني، ويمكن أن يكون رقمًا موجبًا أو سالبًا.
ولإيجاد ميل الخط قم باختيار نقطتين $(x_1 ، y_1)$ ، $(x_2 ، y_2)$، ثم احسب الاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين السينيين $\Delta x = x_2 - x_1$، والاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين الصاديين $\Delta y = (y_2 - y_1)$، ثم جد النسبة بين Δy و Δx .



$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

التغير الطردي Direct variation

إذا احتوت المعادلة على ثابتٍ غير صفري m، بحيث كانت $y = mx$، فإن y تتغير طرديًّا بتغير x؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يزداد أيضًا، ويقال عندئذٍ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا طرديًّا. وهذه معادلة خطية على الصورة $y = mx + b$ حيث قيمة b صفر، ويمر الخط البياني من خلال نقطة الأصل $(0,0)$.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة قوة الإرجاع للنابض المثالي $F = -kx$، حيث F قوة الإرجاع ، k ثابت النابض و x استطالة النابض، تتغير قوة الإرجاع للنابض طرديا مع تغير استطالته؛ولذلك تزداد قوة الإرجاع، عندما تزداد استطالة النابض.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

دليل الرياضيات

التغير العكسي Inverse Variation

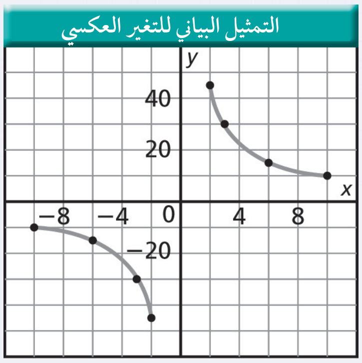
إذا احتوت المعادلة على ثابت غير صفري m، بحيث كانت $y=m/x$ ، فإن y تتغير عكسيًّا بتغير x ؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يتناقص، ويقال عندئذ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا عكسيًّا. وهذه ليست معادلة خطية؛ لأنها تشتمل على حاصل ضرب متغيرين، والتمثيل البياني لعلاقة التناسب العكسي عبارة عن قطع زائد. ويمكن كتابة هذه العلاقة على الشكل:

$$xy = m$$

$$y = m\frac{1}{x}$$

$$y = \frac{m}{x}$$

مثال: مثِّل المعادلة $xy = 90$ بيانيًّا



الموقع – الزمن	
x	**y**
-10	-9
-6	-15
-3	-30
-2	-45
2	45
3	30
6	15
10	9

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة سرعة الموجة $\lambda = \frac{v}{f}$ ، حيث λ الطول الموجي، f التردد، و v سرعة الموجة، نجد أن الطول الموجي يتناسب عكسيًّا مع التردد؛ وهذا يعني أنه كلما يزداد تردد الموجة فإن الطول الموجي يتناقص، أما v فتبقى قيمتها ثابتة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

التمثيل البياني للمعادلة التربيعية Quadratic Graph

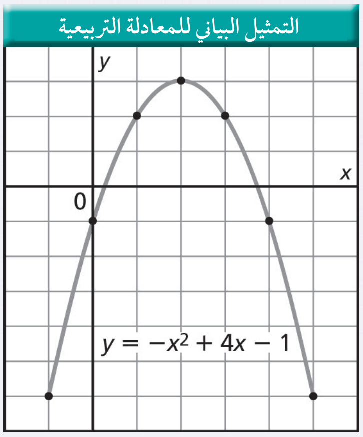
الصيغة العامة للعلاقة التربيعية هي:

$$y = ax^2 + bx + c$$

حيث $a \neq 0$

التمثيل البياني للعلاقة التربيعية يكون على صورة قطع مكافئ، ويعتمد اتجاه فتحة هذا القطع على معامل مربع المتغير المستقل (a)، إذا كان موجبًا أو سالبًا.

مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة $y = -x^2 + 4x - 1$



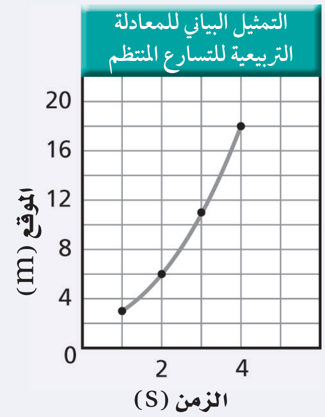
الأزواج المرتبة

x	y
−1	−6
0	−1
1	2
2	3
3	2
4	−1
5	−6

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء عندما يكون منحنى (الموقع – الزمن) على شكل المنحنى البياني للمعادلة التربيعية فهذا يعني أن الجسم يتحرك بتسارع منتظم.

جدول (الموقع – الزمن)

الزمن (s)	الموقع (m)
1	3
2	6
3	11
4	18



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

VIII. علم الهندسة والمثلثات (Geometry and Trigonometry)

المحيط (Perimeter)، والمساحة (Area)، والحجم (Volume)

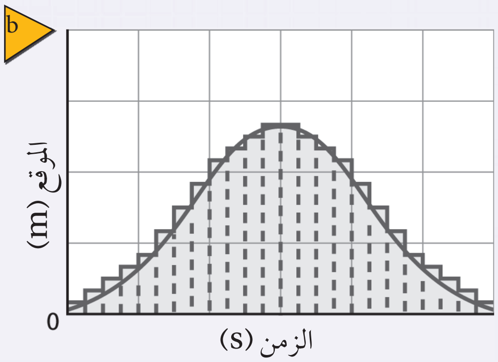
	المحيط وحدات خطية	المساحة وحدات مربعة	مساحة السطح وحدات مربعة	الحجم وحدات مكعبة
المربع الضلع a	$P = 4a$	$A = a^2$		
المستطيل الطول I العرض w	$P = 2l + 2w$	$A = lw$		
المثلث القاعدة b الارتفاع h		$A = (\frac{1}{2})bh$		
المكعب الضلع a			$SA = 6a^2$	$V = a^3$
الدائرة نصف القطر r	$C = 2\pi r$	$A = \pi r^2$		
الأسطوانة نصف القطر r الارتفاع h			$SA = 2\pi rh + 2\pi r^2$	$V = \pi r^2 h$
الكرة نصف القطر r			$SA = 4\pi r^2$	$V = (\frac{4}{3})\pi r^3$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء ابحث في مسائل الفيزياء التي درستها عن أشكال هندسية، يمكن أن تكون ثلاثية الأبعاد أو ذات بعدين. ويمكن أن تمثل الأشكال ذات البعدين السرعة المتجهة أو متجهات الموقع.

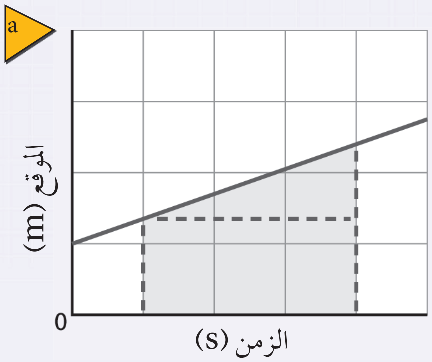
المساحة تحت المنحنى البياني Area Under a Graph

لحساب المساحة التقريبية الواقعة تحت المنحنى البياني، قسم المساحة إلى عدة أجزاء أصغر، ثم أوجد مساحة كل جزء مستعملًا الصيغ الرياضية في الجدول السابق. لإيجاد المساحة التقريبية الواقعة تحت الخط البياني، قسم المساحة إلى مستطيل ومثلث، كما هو موضح في الشكل a. ولإيجاد المساحة تحت المنحنى ارسم عدة مستطيلات من المحور السيني كما في الشكل b. إن رسم مستطيلات أكثر ذات قاعدة أصغر تمنحنا دقة أكثر في حساب المساحة المطلوبة.



المساحة الإجمالية تساوي

المساحة1 + المساحة 2 + المساحة 3 + ...

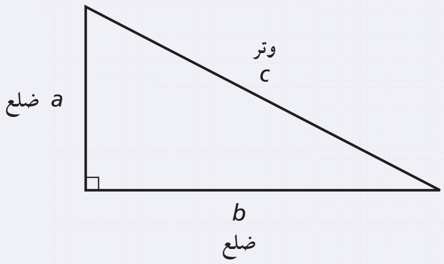


المساحة الإجمالية تساوي

مساحة المستطيل + مساحة المثلث

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

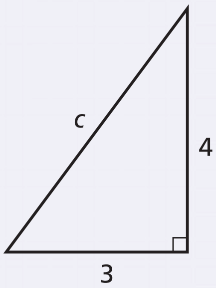
المثلثات القائمة Right Triangles



تنص نظرية فيثاغورس على أنه إذا كان كل من a ،b يمثلان قياس ضلعي المثلث القائم الزاوية وكانت c تمثل قياس الوتر فإن $c^2 = a^2 + b^2$ ولحساب طول الوتر استعمل خاصية الجذر التربيعي. ولأن المسافة موجبة فإن القيمة السالبة للمساحة ليس لها معنى.

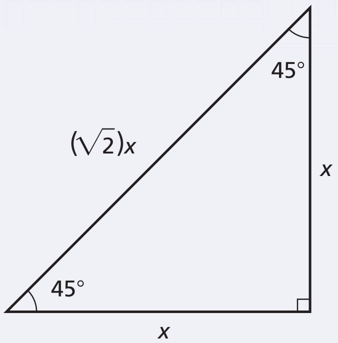
$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

مثال: احسب طول الوتر c في المثلث حيث $a = 4\text{ cm}$ و $b = 3\text{ cm}$

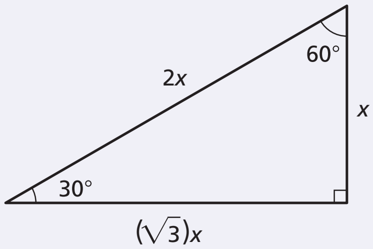


$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$
$$= \sqrt{(4\text{ cm})^2 + (3\text{ cm})^2}$$
$$= \sqrt{16\text{ cm}^2 + 9\text{ cm}^2}$$
$$= \sqrt{25\text{ cm}^2}$$
$$= 5\text{ cm}$$

إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية °45 ، °45، °90 فإن طول الوتر يساوي $\sqrt{2}$ مضروبًا في طول ضلع المثلث.



إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية °90، °60، °30 فإن طول الوتر يساوي ضعفي طول الضلع الأقصر، وطول الضلع الأطول يساوي $\sqrt{3}$ مضروبًا في طول الضلع الأصغر.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

النسب المثلثية Trigonometric Ratios

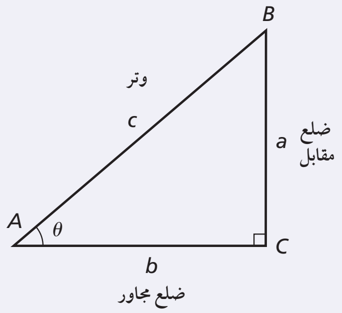
النسب المثلثية عبارة عن نسب أطوال أضلاع المثلث القائم الزاوية. والنسب المثلثية الأكثر شيوعًا هي الجيب sin θ، وجيب التمام cos θ والظل tan θ. ولاختصار هذه النسب تعلم الاختصارات الآتية SOH−CAH−TOA. حيث ترمز SOH إلى جيب ، مقابل، الوتر، في حين ترمز CAH إلى جيب تمام، مجاور، الوتر. أما TOA فترمز إلى ظل، مقابل، المجاور.

التعابير	مساعدة الذاكرة	الرموز
يشير الـ sin إلى نسبة المقابل للزاوية إلى طول الوتر	$\sin\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}}$	$\sin\theta = \frac{a}{c}$
يشير الـ cos إلى نسبة طول الضلع المجاور للزاوية إلى طول الوتر.	$\cos\theta = \frac{\text{المجاور}}{\text{الوتر}}$	$\cos\theta = \frac{b}{c}$
يشير الـ tan إلى نسبة طول الضلع المقابل للزاوية إلى طول الضلع المجاور للزاوية	$\tan\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}}$	$\tan\theta = \frac{a}{b}$

مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC. إذا كانت a =3 cm ، b = 4 cm ، c =5 cm ، فأوجد كلًّا من cos θ و sin θ

$$\sin\theta = \frac{3\text{ cm}}{5\text{ cm}} = 0.6$$

$$\cos\theta = \frac{4\text{ cm}}{5\text{ cm}} = 0.8$$



مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC، إذا كانت θ = 30.0° ، c = 20.0 cm، فأوجد a و b .

$$\sin 30.0^\circ = \frac{a}{20.0\text{ cm}} \qquad \cos 30.0^\circ = \frac{b}{20.0\text{ cm}}$$

$$a = (20.0\text{ cm})(\sin 30.0^\circ) = 10.0\text{ cm}$$

$$b = (20.0\text{ cm})(\cos 30.0^\circ) = 17.3\text{ cm}$$

قانون جيب التمام وقانون الجيب Law of Cosines and Law of Sines

يمنحك قانونا جيب التمام والجيب القدرة على حساب أطوال الأضلاع والزوايا في أي مثلث.

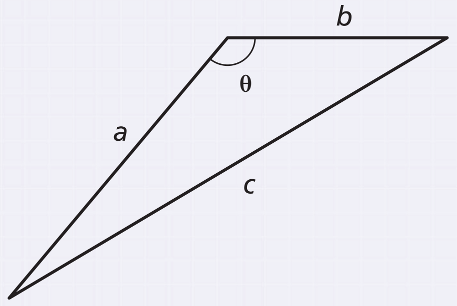
قانون جيب التمام يشبه قانون جيب التمام نظرية فيثاغورس باستثناء الحد الأخير. وتمثل θ الزاوية المقابلة للضلع *c*. فإذا كان قياس الزاوية θ= 90° فإن جتا θ = 0 والحد الأخير يساوي صفرًا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

وإذا كان قياس الزاوية θ أكبر من 90° فإن جتا θ يُصبح عبارة عن رقم سالب.

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta$$

مثال: احسب طول الضلع الثالث للمثلث، إذا كان a =10.0 cm ، b = 12.0 cm ، θ = 110.0° .



$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta}$$

$$= \sqrt{(10.0\ \text{cm})^2 + (12.0\ \text{cm})^2 - 2(10.0\ \text{cm})(12.0\ \text{cm})(\cos 110.0^\circ)}$$

$$= \sqrt{1.00\times10^2\ \text{cm}^2 + 144\ \text{cm}^2 - (2.40\times10^2\ \text{cm}^2)(\cos 110.0^\circ)}$$

$$= 18.1\ \text{cm}$$

قانون الجيب عبارة عن معادلة مكوّنة من ثلاثة نسب، حيث c، b، a الأضلاع المقابلة للزوايا C، B، A بالترتيب.

استعمل قانون الجيب عندما يكون قياس زاويتين وأي من الأضلاع الثلاثة للمثلث معلومة.

$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin B}{b} = \frac{\sin C}{c}$$

مثال: في المثلث ABC إذا كان C = 60.0° ، a = 4.0 cm، c = 4.6 cm، احسب قياس الزاوية A.

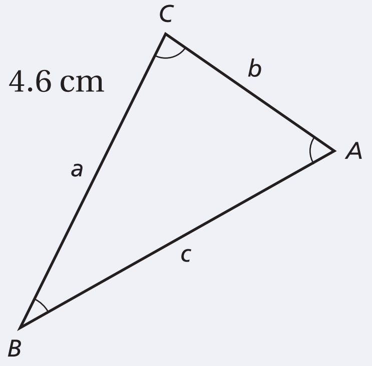
$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin C}{c}$$

$$\sin A = \frac{a\sin C}{c}$$

$$= \frac{(4.0\ \text{cm})(\sin 60.0^\circ)}{4.6\ \text{cm}}$$

$$= 0.75$$

$$A = 49^\circ$$



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

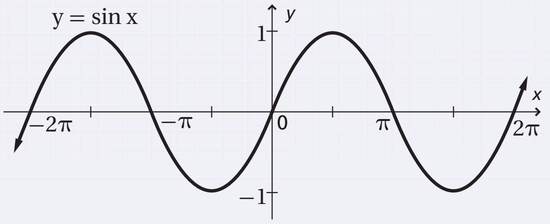
معكوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوس الظل Inverses of Sine, Cosine, and Tangent

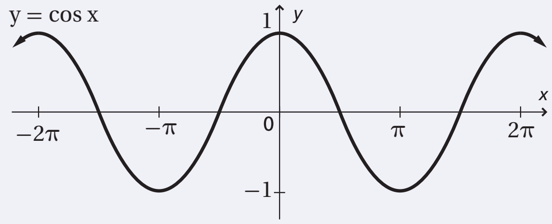
إن معكوس كل من الجيب، وجيب التمام، والظل يمنحك القدرة على عكس اقترانات الجيب وجيب التمام والظل، ومن ثم إيجاد قياس الزاوية. والاقترانات المثلثية ومعكوسها على النحو الآتي:

الاقتران المثلثي	المعكوس
$y = \sin x$	$x = \sin^{-1} y$ أو معكوس $x = \sin y$
$y = \cos x$	$x = \cos^{-1} y$ أو معكوس $x = \cos y$
$y = \tan x$	$x = \tan^{-1} y$ أو معكوس $x = \tan y$

التمثيل البياني للاقترانات المثلثية Graphs of Trigonometric Functions

إن كل اقتران الجيب، $y = \sin x$ و اقتران جيب التمام، $y = \cos x$ هي اقترانات دورية. والزمن الدوري لكل اقتران يساوي 2π، وتكون قيمة x أي عدد حقيقي، أما قيمة y فتكون أي عدد حقيقي بين -1 و 1.





IX. اللوغاريتميات Logarithms

اللوغاريتميات للأساس b

افترض أن b و x عددان موجبان، بحيث $b \neq 1$. فإن لوغاريتم x للأساس b يكتب في صورة $(\log_b x)$ ويساوي y، حيث تمثل y الأس الذي يجعل المعادلة $x = b^y$ صحيحة. إن لوغاريتم x للأساس b يساوي العدد الأسي (y) الذي ترفع إليه العدد b للحصول على x.

$\log_b x = y$ إذا وفقط إذا $b^y = x$

مثال: أوجد ناتج كل من اللوغاريتمات الآتية:

$\log_2 \frac{1}{16} = -4$ لأن $2^{-4} = \frac{1}{16}$

$\log_{10} 1000 = 3$ لأن $10^3 = 1000$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

دليل الرياضيات

عندما تريد إيجاد لوغاريتم عددٍ ما يمكنك استعمال الآلة الحاسبة.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يستعمل الفيزيائيون اللوغاريتمات للعمل بقياسات تمتد إلى مقادير متعددة القيمة أو القوة للعدد 10، ويستعمل الجيوفيزيائيون مقياس ريختر وهو مقياس لوغاريتمي يوفر لهم القدرة على تقدير معدل الزلازل من 5 إلى 7 أو أكبر، وتختلف قوة الزلازل بمقدار 7 أو بقوى أكبر للأساس 10.

اللوغاريتمات الطبيعية Common Logarithms

تسمى اللوغاريتمات للأساس 10 اللوغاريتمات الطبيعية، وتكتب غالبًا بدون الرقم الدليل 10.

$$\log_{10} x = \log x \qquad x > 0$$

المقابلات اللوغاريتمية أو معكوس اللوغاريتمات Antilogarithms or Inverse Logarithms

المقابل اللوغاريتمي هو معكوس اللوغاريتم، ويمثل العدد الذي له لوغاريتم.

مثال: حل $\log x = 4$ بالنسبة للمتغير x

$$\log x = 4$$

10^4 هي المقابل اللوغاريتمي للعدد 4 $\qquad x = 10^4$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن معادلة مستوى الصوت L، بوحدة الديسبل، هي $L = 10 \text{ Log}_{10} R$. حيث R الشدة النسبية للصوت. احسب R لشوكة رنانة تصدر صوتًا بمستوى صوت مقداره 130 ديسبيل.

$$130 = 10 \text{ Log}_{10} R$$

قسّم طرفي المعادلة على العدد 10

$$13 = \text{Log}_{10} R$$

استعمل قاعدة اللوغاريتم

$$R = 10^{13}$$

عندما تعلم قيمة اللوغاريتم لعدد وتريد معرفة العدد نفسه يمكنك استعمال الآلة الحاسبة لإيجاد معكوس اللوغاريتم.

مسائل تدريبية

20. اكتب الصيغة الأسية للمعادلة $\text{Log}_3 81 = 4$

21. اكتب الصيغة اللوغاريتمية للمعادلة $10^{-3} = 0.001$

22. إذا كان $\text{Log}\, x = 3.125$، فأوجد قيمة x.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الجداول

الرمز	الاسم	الكمية
الوحدات الأساسية SI		
m	meter	الطول
kg	kilogram	الكتلة
s	second	الزمن
K	kelvin	درجة الحرارة
mol	mole	مقدار المادة
A	ampere	التيار الكهربائي
cd	candela	شدة الإضاءة

وحدات SI المشتقة

معبرة بوحدات SI أخرى	معبرة بالوحدات الأساسية	الرمز	الوحدة	القياس
	m/s^2	m/s^2		التسارع
	m^2	m^2		المساحة
	kg/m^3	kg/m^3		الكثافة
N.m	$kg.m^2/s^2$	J	joul	الشغل، الطاقة
	$kg.m/s^2$	N	newton	القوة
J/s	$kg.m^2/s^3$	W	watt	القدرة
N/m^2	$kg/m.s^2$	Pa	pascal	الضغط
	m/s	m/s		السرعة
	m^3	m^3		الحجم

تحويلات مفيدة

1 in = 2.54 cm	$1kg = 6.02 \times 10^{26}$ u	1 atm = 101 kPa
1 mi = 1.61 km	1 oz ↔ 28.4 g	1 cal = 4.184 J
	1 kg ↔ 2.21 lb	$1ev = 1.60 \times 10^{-19}$ J
1 gal = 3.79 L	1 lb = 4.45 N	1kwh = 3.60 MJ
$1\ m^3 = 264$ gal	$1\ atm = 14.7\ lb/in^2$	1 hp = 746 W
	$1atm = 1.01 \times 10^5\ N/m^2$	$1\ mol= 6.022 \times 10^{23}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الجداول

ثوابت فيزيائية

الكمية	الرمز	المقدار	القيمة التقريبية
وحدة كتلة الذرة	u	$1.66053886\times 10^{-27}$ kg	1.66×10^{-27} kg
عدد أفوجادرو	N_A	6.0221415×10^{23} mol^{-1}	6.022×10^{23} mol^{-1}
ثابت بولتزمان	k	1.3806505×10^{-23} Pa.m^3/K	1.38×10^{-23} Pa.m^3/K
ثابت الغاز	R	8.314472 Pa.m^3/mol.K	8.31 Pa.m^3/mol.K
ثابت الجاذبية	G	6.6742×10^{-11} N.m^2/kg^2	6.67×10^{-11} N.m^2/kg^2

البادئات

الدلالة العلمية	الرمز	البادئة
10^{-15}	f	femto
10^{-12}	p	pico
10^{-9}	n	nano
10^{-6}	μ	micro
10^{-3}	m	milli
10^{-2}	c	centi
10^{-1}	d	deci
10^{1}	da	deka
10^{2}	h	hecto
10^{3}	k	kilo
10^{6}	M	mega
10^{9}	G	giga
10^{12}	T	terra
10^{15}	P	peta

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الجداول

المادة	الكثافة (g/cm^3)
كثافة بعض المواد الشائعة	
ألومنيوم	2.702
كادميوم	8.642
نحاس	8.92
جرمانيوم	5.35
ذهب	19.31
هيدروجين	8.99×10^{-5}
إنديوم	7.30
حديد	7.86
رصاص	11.34
زئبق	13.546
أكسجين	1.429×10^{-3}
سليكون	2.33
فضة	10.5
ماء $(4\,C^\circ)$	1.000
خارصين	7.14

المادة	درجة الذوبان (C°)	درجة الغليان (C°)
درجات الانصهار والغليان لبعض المواد		
ألومنيوم	660.37	2467
نحاس	1083	2567
جرمانيوم	937.4	2830
ذهب	1064.43	2808
إنديوم	156.61	2080
حديد	1535	2750
رصاص	327.5	1740
سيليكون	1410	2355
فضة	961.93	2212
ماء	0.000	100.000
خارصين	419.58	907

	الحرارة النوعية (J/kg.K)	المادة	الحرارة النوعية (J/kg.K)
الحرارة النوعية لبعض المواد الشائعة			
ألومنيوم	897	رصاص	130
نحاس أصفر	376	ميثانول	2450
كربون	710	فضة	235
نحاس	385	بخار	2020
زجاج	840	ماء	4180
جليد	2060	خارصين	388
حديد	450		

المادة	الحرارة الكامنة للانصهار (J/kg)	الحرارة الكامنة للتبخر (J/kg)
الحرارة الكامنة للانصهار والحرارة الكامنة للتبخر لبعض المواد الشائعة		
نحاس	2.05×10^{5}	5.07×10^{6}
ذهب	6.30×10^{4}	1.64×10^{6}
حديد	2.66×10^{5}	6.29×10^{6}
رصاص	2.04×10^{4}	8.64×10^{5}
زئبق	1.15×10^{4}	2.72×10^{5}
ميثانول	1.09×10^{5}	8.78×10^{5}
فضة	1.04×10^{5}	2.36×10^{6}
ماء (جليد)	3.34×10^{5}	2.26×10^{6}

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الجداول

الأطوال الموجية للضوء المرئي	
الطول الموجي (nm) بالنانومتر	اللون
430–380	الضوء البنفسجي
450–430	الضوء النيلي
500–450	الضوء الأزرق
520–500	الضوء الأزرق الداكن
565–520	الضوء الأخضر
590–565	الضوء الأصفر
625–590	الضوء البرتقالي
740–625	الضوء الأحمر

سرعة الصوت في أوساط مختلفة	
m/s	الوسط
331	هواء (0°)
343	هواء (20°)
972	هيليوم (0°)
1286	هيدروجين (0°)
1493	ماء (25°)
1533	ماء البحر (0°)
1600	مطاط
3560	نحاس (25°)
5130	حديد (25°)
5640	زجاج التنور
12000	ألماس

الرموز اللاتينية					
A	α	alpha	N	ν	nu
B	β	bêta	Ξ	ξ	ksi
Γ	γ	gamma	O	o	omikron
Δ	δ	delta	Π	π	pi
E	ϵ	epsilon	P	ρ	rô
Z	ζ	dzêta	$\sum$	σ	sigma
H	η	êta	T	τ	tau
Θ	θ	thêta	Υ	υ	upsilon
I	ι	iota	Φ	ϕ	phi
K	κ	kappa	$\boldsymbol{X}$	χ	khi
Λ	λ	lambda	Ψ	ψ	psi
M	μ	mu	Ω	ω	omega

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المصطلحات

أ

الآلة machine	أداة تسهّل بذل الشغل (ولكن لا تغير مقدار الشغل) بوساطة تغيير مقدار القوة المسببة للشغل أو اتجاهها.
الآلة المركبة compound machine	آلة تتركب من آلتين بسيطتين أو أكثر موصولتين بحيث تصبح قوة المقاومة للآلة الأولى هي القوة المسلطة في الآلة الثانية.
الإتزان الحراري Equilibrium	الحالة التي يصبح عندها معدلا تدفق الطاقة بين جسمين متساوي، ويكون لكلا الجسمين درجة الحرارة نفسها.
الإزاحة الزاوية angular displacement	التغير في الزاوية في أثناء دوران الجسم.
الإشعاع الحراري radiation	الانتقال الحراري للطاقة بوساطة الموجات الكهرومغناطيسية خلال الفراغ في الفضاء.
الإنتروبي entropy	مقياس للفوضى (العشوائية) في النظام.

ت

التسارع الزاوي angular acceleration	حاصل قسمة التغير في السرعة الزاوية المتجهة على الزمن اللازم للتغير، وتقاس بوحدة rad/s^2.
التصادم المرن elastic collision	أحد أنواع التصادم، تبقى فيه الطاقة الحركية قبل التصادم وبعده متساويين.
التصادم عديم المرونة inelastic collision	التصادم الذي تقل فيه الطاقة الحركية النهائية عن الطاقة الحركية الابتدائية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المصطلحات

تصادم فوق المرن (الانفجاري) super elastic (explosive)	أحد أنواع التصادم، تزيد فيه الطاقة الحركية بعد التصادم عنها قبل التصادم.
التوصيل الحراري conduction	عملية يتم فيها نقل الطاقة الحركية عند تصادم الجزيئات بعضها ببعض.

ج

الجول joule	وحدة قياس الطاقة J، تساوي الشغل المبذول عندما تؤثر قوة مقدارها واحد نيوتن في جسم مسافة 1m.

ح

الحرارة heat	الطاقة المتنقلة بين جسمين متصلين معًا تنتقل عادة من الجسم الساخن إلى الجسم البارد.
الحرارة الكامنة للانصهار heat of fusion	كمية الحرارة اللازمة لتحول 1kg من المادة في حالة الصلابة إلى حالة السيولة عند درجة الانصهار.
الحرارة الكامنة للتبخر heat of vaporization	كمية الحرارة اللازمة لتحول 1kg من المادة في حالة السيولة إلى الحالة الغازية عند درجة الغليان.
الحرارة النوعية specific heat	كمية الطاقة الواجب تزويدها للمادة لترفع درجة حرارة وحدة الكتل من المادة درجة حرارة واحدة، وتقاس بوحدة J /kg.K.
الحمل الحراري convection	إحدى طرائق انتقال الطاقة الحرارية، تحدث بحركة المائع في سائل أو غاز والناتجة عن اختلاف درجات الحرارة.

د

الدفع impulse	حاصل ضرب القوة المؤثرة في جسم في زمن تأثيرها.

ذ

ذراع القوة lever arm	المسافة العمودية من محور الدوران إلى نقطة تأثير القوة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المصطلحات

ر

الراديان radian	تساوي $\frac{1}{2\pi}$ من الدورة الكاملة، ويرمز لها بالرمز rad

ز

الزخم momentum	حاصل ضرب كتلة الجسم في سرعته، وتقاس بوحدة kg.m /s

س

السرعة الزاوية المتجهة angular velocity	حاصل قسمة الإزاحة الزاوية لجسم يدور على الزمن اللازم لحدوث هذه الإزاحة.

ش

الشغل work	الانتقال الميكانيكي للطاقة، يتم عندما تؤثر قوة ثابتة في جسم في اتجاه حركته نفسه، ويساوي القوة مضروبةً في إزاحة الجسم.

ط

الطاقة energy	قدرة الجسم على إحداث تغيير في نفسه أو في الأشياء المحيطة به.
الطاقة الحرارية thermal energy	الطاقة الكلية للجزيئات.
الطاقة الحركية kinetic energy	طاقة الجسم الناتجة عن حركته.
الطاقة الميكانيكية mechanical energy	مجموع طاقتي الحركة والوضع في النظام.
طاقة وضع الجاذبية gravitational potential energy	الطاقة المختزنة في النظام والناتجة عن قوة الجاذبية بين الأرض والجسم.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

طاقة الوضع المرونية
elastic potential energy
طاقة الوضع المختزنة في جسم مرن (مطاطي) نتيجة لتغير الشكل.

طاقة حركية دورانية
rotational kinetic energy
طاقة الجسم الناتجة عن حركته حركة دورانية.

ع

العزم
torque
مقياس لمدى فاعلية القوة في تدوير الأجسام، وتساوي القوة مضروبة في طول ذراعها.

ف

الفائدة الميكانيكية
mechanical advantage
النسبة بين قوة المقاومة إلى القوة المؤثرة.

الفائدة الميكانيكية المثالية
ideal mechanical advantage
للآلة المثالية تساوي إزاحة القوة مقسومة على إزاحة المقاومة (الحمل).

ق

القانون الأول لكبلر
Kepler's First law
ينص على أن الكواكب تتحرك في مدارات إهليلجية، وتكون الشمس في إحدى البؤرتين.

القانون الثاني لكبلر
Kepler's Second law
ينص على أن الخط الوهمي من الشمس إلى الكوكب يمسح مساحات متساوية في فترات زمنية متساوية.

القانون الثالث لكبلر
Kepler's Third law
ينص على أن مربع نسبة الزمن الدوري لأي كوكبين يساوي مكعب النسبة بين متوسط بُعديهما عن الشمس.

قانون الجذب الكوني (العام)
Law of Universal Gravitation
ينص على أن قوة التجاذب بين أي جسمين تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسيًّا مع مربع المسافة بين مركزيهما.

القانون الأول في الديناميكا الحرارية
first law of thermodynamics
ينصّ على أن التغير في الطاقة الحرارية لجسمٍ ما يساوي الحرارة التي اكتسبها الجسم مطروحًا منها الشغل الذي بذله الجسم.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المصطلحات

القانون الثاني في الديناميكا الحرارية second law of thermodynamics	ينصّ على أن العمليات الطبيعية في الكون تحدث بحيث يتم الحفاظ على الفوضى الكلية (الاضطراب) في الكون (النظام) أو زيادتها.
قانون حفظ الزخم law of conservation of momentum	ينصّ على أن الزخم في أي نظام مغلق ومعزول لا يتغير.
قانون حفظ الطاقة law of conservation of energy	ينص على أنه في النظام المغلق و المعزول. الطاقة لا تفنى ولا تستحدث إلا بقدرة الله، وإنما تتحول من شكل إلى آخر؛ ولذلك تبقى محفوظة.
القدرة power	هي الشغل المبذول مقسوماً على الزمن اللازم لبذل الشغل، أو هي المعدل الذي تغير فيه القوة الخارجية طاقة النظام.
قوة الجاذبية Gravitational Force	قوة التجاذب بين جسمين، وتتناسب طرديًّا مع كتل الأجسام.
القوة الطاردة المركزية centrifugal force	القوة الظاهرة (الوهمية) التي تبدو أنها تسحب الجسم المتحرك بسرعة دائرية ثابتة، لكنها لا تؤثر بأي دفع ملموس إلى الخارج، وتكون محسوسة فقط عندما تتم ملاحظة الجسم في أطر دوّارة.
القوة المسلطة effort force	القوة التي يؤثر بها الشخص في الآلة.
قوة كوريوليس The Coriolis Force	قوة ظاهرية (وهمية) التي تبدو وكأنها تحرف جسم متحرك عن مساره بخط مستقيم ولا يمكن ملاحظتها إلا في أطر مرجعية دوارة.

ك

كتلة الجاذبية Gravitational Mass	تحدد مقدار قوة الجاذبية بين جسمين.
كتلة القصور Inertial Mass	مقياس لممانعة أو مقاومة الجسم لأي نوع من القوى.
الكفاءة efficiency	النسبة بين الشغل الناتج إلى الشغل المبذول (الداخل).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المصطلحات

م

مبدأ التكافؤ	وهو مبدأ يُستخدم في الفيزياء لتحديد التأثير المتبادل بين جسمين نتيجة لجاذبيتهما، حيث إن مقدار كتلة الجاذبية يساوي مقدار كتلة القصور.
المجال الجاذبي Gravitational Field	تأثير محيط بجسم له كتلة، ويساوي ثابت الجذب الكوني مضروبا في كتلة الجسم ومقسوما على مربع البعد عن مركز الجسم، ويكون اتجاهه في اتجاه مركز الكتلة.
المحرك الحراري heat engine	جهاز يحوّل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية بشكل مستمر ويحتاج إلى مصدر طاقة حرارية ذات درجة حرارة عالية، كما أنها الطريقة التي تتحوّل بها الطاقة الحرارية إلى شغل.
مركز الكتلة center of mass	نقطة على الجسم تتحرك بالطريقة نفسها التي تتحرك بها النقطة المادية.
مستوى الإسناد reference level	الموضع الذي تكون فيه طاقة وضع الجاذبية صفرًا.
المقاومة resistance force	القوة التي تؤثر بها الآلة.

ن

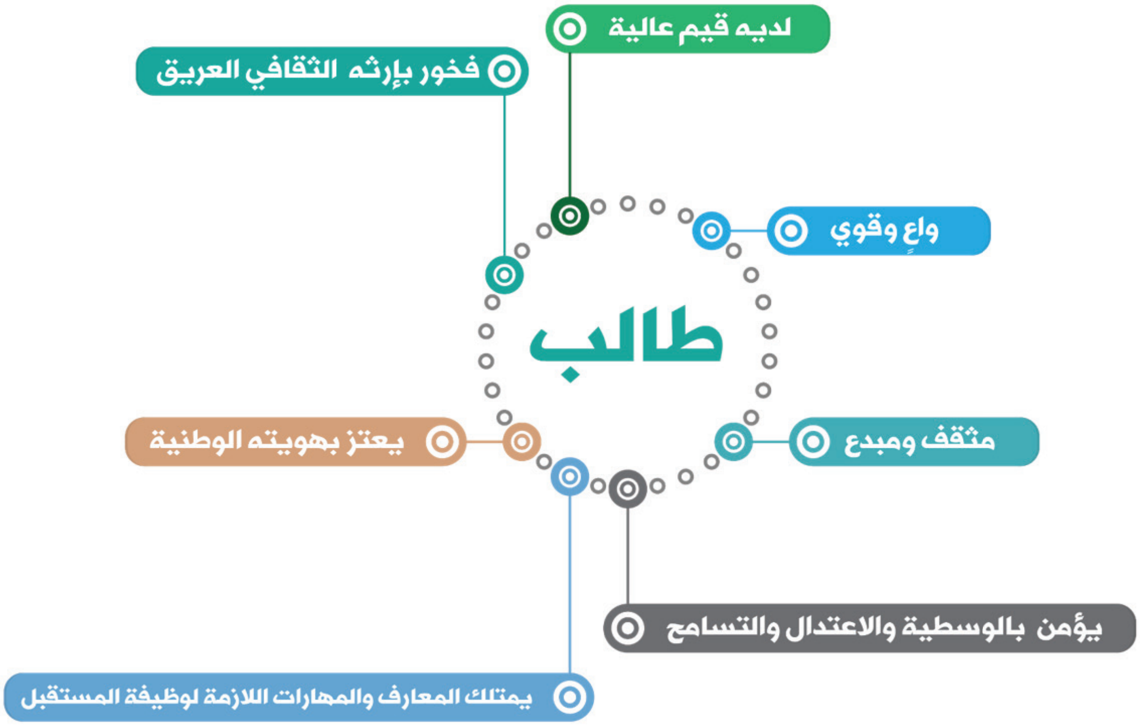
النظام المعزول Isolated System	نظام تكون فيه محصلة القوى الخارجية المؤثرة عليه تساوي صفر.
النظام المغلق closed system	النظام الذي لا يكسب كتلة أو يفقدها.
نظرية الدفع–الزخم impulse-momentum theorem	تنص على أن الدفع على جسم يساوي الزخم النهائي للجسم مطروحًا منه زخمه الابتدائي.
نظرية الشغل- الطاقة work- energy theorm	تنصّ على أنه عند بذل شغل على جسم ما تتغير الطاقة الحركية للجسم.

و

الواط watt	وحدة القدرة W، وتساوي مقدار 1 J من الطاقة المتحولة (المنقولة) في الثانية 1 S.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رؤية VISION 2030
المملكة العربية السعودية
KINGDOM OF SAUDI ARABIA



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447